

CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM – BUÔN MA THUẬT 2012

Câu 1

Trong thí nghiệm tán xạ Compton đối với chùm tia X có bước sóng xác định, ứng với góc tán xạ $\theta_1 = 60^\circ$ thì độ dịch Compton bằng 5%. Hỏi ứng với góc tán xạ $\theta_2 = 120^\circ$ thì độ dịch Compton bằng bao nhiêu?

- A. 1% B. 5% C. 10% D. 15%

Đáp án: D

Trong tán xạ Compton đối với chùm tia X có bước sóng xác định, độ dịch bước sóng $\Delta\lambda \sim (1 - \cos\theta)$, trong đó θ là góc tán xạ. Do đó, $\Delta\lambda_2 = \Delta\lambda_1 \frac{1 - \cos\theta_2}{1 - \cos\theta_1} = 15\%$.

Câu 2

Một viên đạn xuyên qua tấm ván có chiều dày D thì tốc độ giảm từ v_1 xuống v_2 . Lực cản của tấm ván tác dụng lên viên đạn là $F = kv^2$ với k là hằng số. Thời gian chuyển động của viên đạn trong tấm ván là

- A. $t = \frac{D \left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1} \right)}{\ln \frac{v_1}{v_2}}$ B. $t = D \left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1} \right)$
C. $t = \frac{D(v_1 - v_2)}{v_1^2}$ D. $t = D \left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1} \right) \ln \frac{v_1}{v_2}$

Đáp án: A

Phương trình chuyển động của viên đạn trong tấm ván là $-kv^2 = ma$, a là gia tốc của viên đạn. Do đó ta có

$$-kv \, dx = m \, dv \quad \text{và} \quad -\frac{k}{m} dt = \frac{dv}{v^2}.$$

Lấy tích phân hai phương trình, ta nhận được

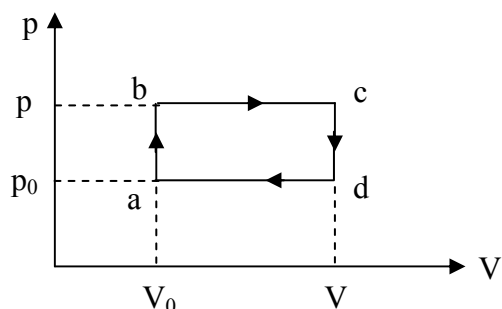
$$-\frac{k}{m} \int_0^D dx = \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v} \quad \Rightarrow \quad D = \frac{m}{k} \ln \frac{v_1}{v_2},$$
$$-\frac{k}{m} \int_0^t dt = \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v^2} \quad \Rightarrow \quad -\frac{k}{m} t = \frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2},$$

$$\text{suy ra thời gian chuyển động của viên đạn trong tấm ván là } t = \frac{D \left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1} \right)}{\ln \frac{v_1}{v_2}}.$$

Câu 3

1 mol khí lý tưởng đơn nguyên tử được dùng làm tác nhân của một động cơ nhiệt hoạt động theo chu trình như trên hình vẽ. Cho biết $p = 2p_0$, $V = 2V_0$. Hỏi hiệu suất của động cơ là bao nhiêu?

- A. 0,75 B. $\frac{2}{13}$
C. 0,20 D. $\frac{2}{3}$



Đáp án: B

Công do chất khí thực hiện trong một chu trình

$$A = (V - V_0)(p - p_0) = p_0 V_0 .$$

Chất khí nhận nhiệt trong quá trình đẳng tích ab và quá trình đẳng áp bc. Tổng nhiệt lượng chất khí nhận được là

$$\begin{aligned} Q &= Q_{ab} + Q_{bc} = C_v (T_b - T_a) + C_p (T_c - T_b) \\ &= \frac{3}{2} (p_b V_b - p_a V_a) + \frac{5}{2} (p_c V_c - p_b V_b) = \frac{3}{2} p_0 V_0 + 5 p_0 V_0 = \frac{13}{2} p_0 V_0 . \end{aligned}$$

Hiệu suất của động cơ là

$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{2}{13} .$$

Câu 4

Trên cột buồm một con tàu có nguồn sáng xanh với bước sóng $\lambda = 500$ nm. Hỏi người thợ lặn dưới nước (có chiết suất $n = 1,33$) ở bên cạnh tàu quan sát thấy nguồn sáng này có màu gì và đo được bước sóng bao nhiêu?

- A. Màu xanh $\lambda = 500$ nm
B. Màu đỏ $\lambda = 665$ nm
C. Màu xanh $\lambda = 376$ nm
D. Tử ngoại $\lambda = 376$ nm

Đáp án: C

Tần số của ánh sáng xác định màu sắc của nó. Khi truyền từ môi trường này sang môi trường khác, tần số của ánh sáng không thay đổi. Mặt khác, trong môi trường có chiết suất lớn hơn, ánh sáng truyền với tốc độ nhỏ hơn, do đó có bước sóng ngắn hơn. Vì vậy, người thợ lặn nhìn thấy nguồn sáng vẫn có màu xanh, nhưng đo được bước sóng $\lambda' = \lambda/n = 500/1,33 = 376$ nm.

Câu 5

Cho hai mẫu phóng xạ X và Y có cùng độ phóng xạ H_0 ở thời điểm $t=0$. Chu kỳ bán rã của X là 24 năm, của Y là 16 năm. Người ta trộn hai mẫu phóng xạ này với nhau. Hỏi độ phóng xạ của hỗn hợp sau 48 năm là bao nhiêu?

- A. $\frac{1}{12} H_0$ B. $\frac{3}{16} H_0$ C. $\frac{1}{4} H_0$ D. $\frac{3}{8} H_0$

Đáp án: D

Độ phóng xạ của mẫu phóng xạ ở thời điểm t được cho bởi biểu thức

$H(t) = H_0 e^{-\frac{t}{t_{1/2}} \ln 2}$, trong đó $t_{1/2}$ là thời gian bán rã của chất phóng xạ. Do đó, sau 48 năm, độ phóng xạ của các mẫu là

$$H_1 = H_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{48}{t_{1/2}}} = \frac{1}{4} H_0 \quad \text{đối với mẫu X,}$$

$$H_2 = H_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{48}{t_{1/2}}} = \frac{1}{8} H_0 \quad \text{đối với mẫu Y.}$$

Độ phóng xạ của hỗn hợp là

$$H = H_1 + H_2 = \frac{3}{8} H_0.$$

Câu 6

Bốn ống trụ có cùng khối lượng M lăn không trượt trên một mặt phẳng nghiêng có độ cao h . Bốn ống trụ được chế tạo

1. Rỗng với bán kính R
2. Đặc với bán kính R
3. Đặc với bán kính $R/2$
4. Rỗng với bán kính $R/2$

Nếu bốn ống trụ được thả đồng thời từ đỉnh mặt phẳng nghiêng thì ống nào sẽ lăn đến chân mặt nghiêng sớm nhất?

- A. Ống 1 B. Ống 2 C. Ống 1 và 2 D. Ống 2 và 3

Đáp án: D

Phương trình chuyển động của ống trụ $M\alpha R = Mg \sin \theta - \frac{I\alpha}{R}$, trong đó α là gia tốc góc của ống, θ là góc giữa mặt phẳng nghiêng và mặt phẳng ngang. I là mô men quán tính của ống trụ, $I = \frac{1}{2}MR^2$ đối với ống trụ đặc, $I = MR^2$ đối với ống trụ rỗng. Tốc độ v của khối tâm ống tại thời điểm t là

$$v = \omega R = \frac{MgR^2 \sin \theta}{MR^2 + I} t \quad \text{với } \omega \text{ là tốc độ góc của ống trụ. Thời gian ống trụ lăn hết mặt}$$

$$\text{phẳng nghiêng là } \tau = \sqrt{\frac{2h}{g \sin^2 \theta} \left(M + \frac{I}{R^2} \right)}. \quad \tau \text{ không phụ thuộc vào bán kính của}$$

$$\text{ống trụ, mà chỉ phụ thuộc ống trụ đặc hay rỗng, } \tau_1 = \sqrt{\frac{3h}{g \sin^2 \theta}} \text{ đối với ống trụ đặc và}$$

$$\tau_2 = \sqrt{\frac{4h}{g \sin^2 \theta}} \text{ đối với ống trụ rỗng, } \tau_1 < \tau_2.$$

Câu 7

Nếu khối lượng của Mặt Trăng tăng gấp đôi nhưng bán kính quỹ đạo của chuyển động quanh Quả Đất vẫn giữ nguyên như hiện nay thì chu kỳ quay quanh Quả Đất của Mặt Trăng là (T là chu kỳ hiện nay)

- A. T B. $T/2$ C. $T/4$ D. $2T$

Đáp án: A

Theo định luật Kepler 3,

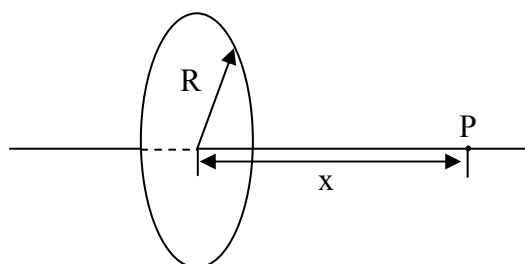
$$\frac{T^2}{R^3} = C,$$

trong đó T là chu kỳ, R là bán kính quỹ đạo, C là hằng số có giá trị như nhau đối với tất cả các hành tinh. Như vậy, chu kỳ của chuyển động quay không phụ thuộc vào khối lượng của hành tinh, mà chỉ phụ thuộc bán kính của quỹ đạo.

Câu 8

Cho một vành bán kính R nhiễm điện đều với điện tích tổng cộng là $Q > 0$. Thế tĩnh điện tại điểm P trên trục đối xứng của vành và cách tâm vành khoảng x là

- A. $\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 x}$
 B. $\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \sqrt{R^2 + x^2}}$
 C. $\frac{Qx}{4\pi\epsilon_0 (R^2 + x^2)}$
 D. $\frac{Qx}{4\pi\epsilon_0 (R^2 + x^2)^{3/2}}$



Đáp án: B

Khi $|x| \rightarrow \infty$, có thể xem vành tích điện như một điện tích điểm. Vì vậy, thế tĩnh điện tại điểm P tỷ lệ với $\frac{1}{|x|}$ khi $|x| \rightarrow \infty$. Đáp án B thỏa mãn điều kiện này.

Câu 9

Trong phổ của nguyên tử hydro, tỷ số giữa bước sóng dài nhất của dãy Lyman và bước sóng dài nhất của dãy Balmer là

- A. $5/27$ B. $1/3$ C. 3 D. $4/9$

Đáp án: A

Bước sóng của các vạch thuộc dãy Lyman được cho bởi công thức

$$\frac{1}{\lambda_n} = R_y \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right), \text{ trong đó hằng số Rydberg } R_y = 1,0974 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}, n = 2, 3, 4, \dots$$

Bước sóng của các vạch thuộc dãy Balmer được cho bởi công thức

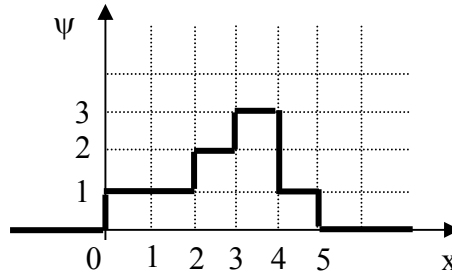
$$\frac{1}{\lambda'_n} = R_y \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \text{ với } n = 3, 4, 5, \dots$$

Tỷ số giữa bước sóng dài nhất của dãy Lyman và của dãy Balmer là $\frac{\lambda'_2}{\lambda'_3} = \frac{5}{27}$.

Câu 10

Hàm sóng của một hạt chuyển động một chiều được vẽ trên đồ thị bên dưới ($\psi(x) = 0$ cho $x \leq 0$ và $x \geq 5$). Xác suất tìm thấy hạt trong miền $2 \leq x \leq 4$ là

- A. 25/64
- B. 5/8
- C. $\sqrt{5/8}$
- D. 13/16



Đáp án: D

Xác suất phải tìm là
$$W = \frac{\int_2^4 dx |\Psi(x)|^2}{\int_0^5 dx |\Psi(x)|^2}$$

$$= (2^2 \cdot 1 + 3^2 \cdot 1) / (1^2 \cdot 2 + 2^2 \cdot 1 + 3^2 \cdot 1 + 1^2 \cdot 1)$$

$$= 13/16.$$

Câu 11

Năng lượng liên kết của một hạt nhân nặng là khoảng 7 MeV/nucleon, trong khi đó năng lượng liên kết của hạt nhân trung bình là khoảng 8 MeV/nucleon. Vì vậy, động năng tổng cộng được giải phóng khi hạt nhân nặng phân thành hai hạt nhân con có khối lượng gần bằng nhau là

- A. 1876 MeV
- B. 938 MeV
- C. 200 MeV
- D. 8 MeV

Đáp án: C

Ký hiệu A và M là số khối và khối lượng của hạt nhân nặng, M' là khối lượng của hạt nhân con, m là khối lượng của nucleon. Ta có

$$(Am - M)c^2 = A \cdot 7\text{MeV},$$

$$(A/2 m - M')c^2 = (A/2) \cdot 8\text{MeV}.$$

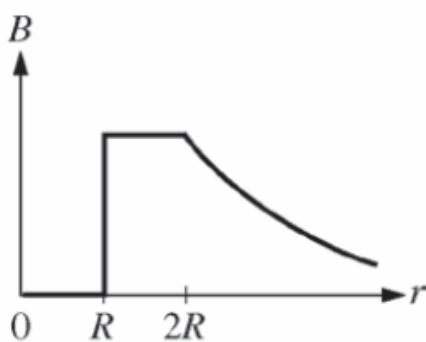
Do đó, động năng tổng cộng được giải phóng là

$$T = (M - 2M')c^2 = A \cdot 1\text{MeV}.$$

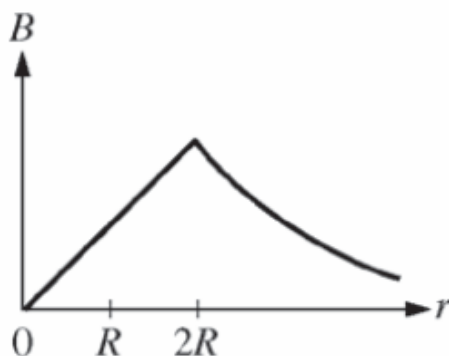
Đối với hạt nhân nặng, A có giá trị cỡ 100-200, nên T có giá trị khoảng 200 MeV.

Câu 12

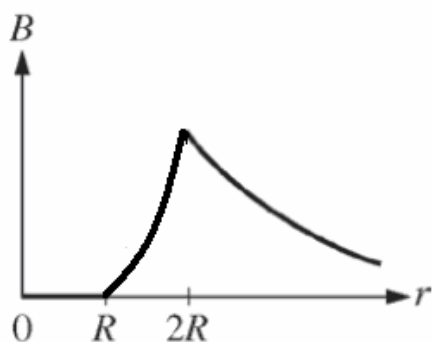
Cho một dây dẫn thẳng hình trụ, rất dài, rỗng ở giữa, có bán kính trong là R và bán kính ngoài là 2R. Trong dây dẫn có dòng điện với mật độ dòng đồng nhất. Đồ thị nào dưới đây mô tả sự phụ thuộc của độ lớn véc tơ cảm ứng từ vào khoảng cách tới tâm dây dẫn?



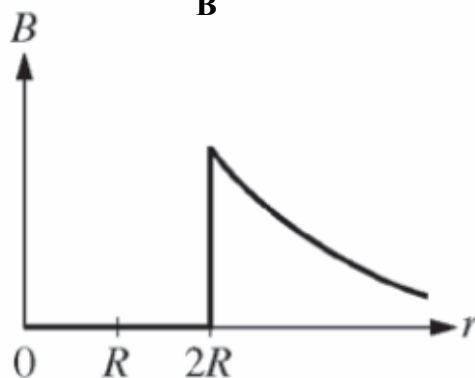
A



B



C



D

Đáp án: C

Theo định luật Ampere, cảm ứng từ B tại điểm cách tâm dây dẫn khoảng r thỏa mãn phương trình

$$2\pi r B = \mu_0 I ,$$

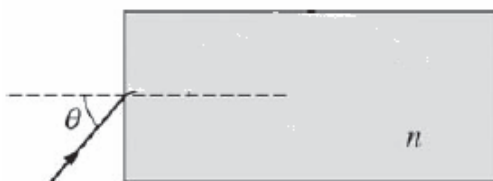
trong đó I là cường độ dòng điện đi qua diện tích hình tròn bán kính r có tâm nằm trên trục dây dẫn. Do đó,

$$B = 0 \text{ nếu } r < R , \quad B \sim \left(r - \frac{R^2}{r} \right) \text{ nếu } R < r < 2R , \quad B \sim \frac{1}{r} \text{ nếu } r > R .$$

Câu 13

Sợi quang là sợi thủy tinh dẻo, trong suốt, hoạt động như ống dẫn sóng dùng để truyền ánh sáng. Khi truyền trong sợi quang, ánh sáng bị giam giữ hoàn toàn trong sợi. Trên hình vẽ là mô hình sợi quang có chiết suất n , được bao quanh bởi không khí có chiết suất $n_0 \approx 1$. Góc tới θ của ánh sáng đi vào sợi phải thỏa mãn điều kiện ($0 \leq \arcsin x \leq 90^\circ$)

- A. $\theta > \arcsin \sqrt{n^2 - 1}$
- B. $\theta < \arcsin \sqrt{n^2 - 1}$
- C. $\theta > \arcsin \sqrt{n^2 + 1}$
- D. $\theta < \arcsin \sqrt{n^2 + 1}$



Đáp án: B

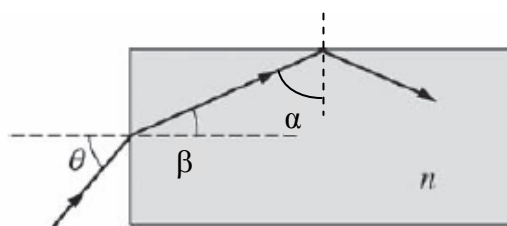
Để không thoát ra ngoài sợi, ánh sáng phải phản xạ toàn phần ở bề mặt tiếp giáp với không khí. Do đó $\sin \alpha > \frac{1}{n}$. Ta có

$$\sin \theta = n \sin \beta = n \cos \alpha$$

$$= n \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} < \sqrt{n^2 - 1}$$

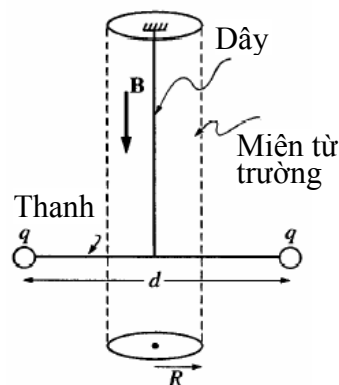
Suy ra

$$\theta < \arcsin \sqrt{n^2 - 1}$$



Câu 14

Hai quả cầu nhỏ bằng xốp, mỗi quả mang điện tích q , được gắn vào hai đầu một thanh nhẹ có chiều dài d . Thanh được treo bằng một dây mảnh như trên hình vẽ. Trong miền hình trụ bán kính R bao quanh dây treo có từ trường đều $\mathbf{B}$ hướng xuống dưới. Toàn bộ hệ nằm ở trạng thái tĩnh. Khi tắt từ trường, hệ sẽ (không tính đến độ xoắn của dây treo)



- A. Quay với mô men động lượng $L = qBR^2$
- B. Quay với mô men động lượng $L = qBd^2/4$
- C. Quay với mô men động lượng $L = qBRd/2$
- D. Đứng yên.

Đáp án: A

Khi tắt từ trường, theo định luật Faraday, tại vị trí quả cầu xuất hiện điện trường

$$E = \frac{1}{\pi d} \left| \frac{d}{dt} [\pi R^2 B(t)] \right| = \frac{R^2}{d} \left| \frac{dB(t)}{dt} \right|.$$

có phương vuông góc với thanh và dây treo. Lực điện tác dụng lên 2 quả cầu sinh ra mô men lực M làm hệ quay quanh dây treo. Ta có

$$\frac{dL}{dt} = M = 2qE \frac{d}{2} = qd \frac{R^2}{d} \left| \frac{dB(t)}{dt} \right|,$$

do đó, $L = qR^2 B$.

Câu 15

Đối với khí lý tưởng lưỡng nguyên tử ở trạng thái cân bằng nhiệt, tỷ số nhiệt dung mol đẳng tích ở nhiệt độ rất cao và ở nhiệt độ rất thấp là

- A. 5/3
- B. 2
- C. 7/3
- D. 3

Đáp án: C

Nhiệt dung mol đẳng tích của khí lý tưởng lưỡng nguyên tử được cho bởi biểu thức

$c_V = s \frac{R}{2}$, trong đó s là bậc tự do của phân tử khí. Đối với khí lưỡng nguyên tử ở

nhiệt độ rất cao, các bậc tự do quay và dao động đều đóng góp vào năng lượng trung bình của phân tử, do đó $s = 7$. Ở nhiệt độ rất thấp, có thể bỏ qua chuyển động quay và dao động của phân tử. Lúc này, khí lưỡng nguyên tử thể hiện như khí đơn nguyên tử,

nên $s = 3$. Tỷ số nhiệt dung mol đẳng tích ở nhiệt độ rất cao và ở nhiệt độ rất thấp là $7/3$.

Câu 16

Thời gian bán rã của hạt meson π^+ đứng yên là $2,5 \cdot 10^{-8}$ s. Một chùm hạt π^+ được sinh ra tại một điểm cách đầu dò (detector) 15m. Chỉ có một nửa số hạt π^+ đi tới đầu dò trước khi phân rã. Hỏi tốc độ của các hạt π^+ là bao nhiêu?

- A. $\frac{1}{2}c$ B. $\sqrt{\frac{2}{5}}c$ C. $\frac{2}{\sqrt{5}}c$ D. $2c$

Đáp án: C

Ký hiệu v là tốc độ của các hạt meson. Thời gian cần thiết để hạt đi tới đầu dò là t . Tỷ số giữa số hạt đi tới đầu dò $N(t)$ và số hạt ban đầu N_0 là $1/2$. Ta có

$$\frac{1}{2} = \frac{N(t)}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{t/t_{1/2}} \quad \text{với} \quad t_{1/2} = \frac{2,5 \cdot 10^{-8}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}, \quad t = \frac{15}{v} \quad (\text{s}).$$

Suy ra

$$\frac{15}{v} = \frac{2,5 \cdot 10^{-8}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad \text{hay} \quad v = \frac{2}{\sqrt{5}}c.$$

Câu 17

Cho 1 mol khí lý tưởng đơn nguyên tử ở nhiệt độ T . Sau quá trình biến đổi được biểu diễn bởi một đoạn thẳng trên giản đồ p - V , áp suất và thể tích của khối khí tăng lên gấp đôi. Nhiệt dung mol của khí trong quá trình này là

- A. $3R/2$ B. $5R/2$ C. $2R$ D. $5R$

Đáp án: C

Trong quá trình đang xét, áp suất và thể tích tỷ lệ với nhau nên có thể viết $p = \alpha V$. Từ phương trình trạng thái ta có $V = \sqrt{\frac{RT}{\alpha}}$. Nhiệt dung mol của chất khí được cho bởi

$$\text{biểu thức} \quad C = \frac{dQ}{dT} = \frac{dU + dW}{dT}.$$

$$\text{Ta có} \quad dU = \frac{3}{2}RdT,$$

$$dW = pdV = \alpha VdV = \frac{\alpha}{2}d(V^2) = \frac{\alpha}{2}d\left(\frac{RT}{\alpha}\right) = \frac{1}{2}RdT.$$

$$\text{Do đó} \quad C = 2R.$$

Câu 18

Một mẫu chứa các hạt nhân phóng xạ khi phân rã chỉ phát ra bức xạ α và bức xạ β . Thời gian bán rã đối với bức xạ α là 24 phút, đối với bức xạ β là 36 phút. Hỏi thời gian bán rã của mẫu là bao nhiêu?

- A. 36 phút B. 20,8 phút C. 60 phút D. 14,4 phút

Đáp án: D

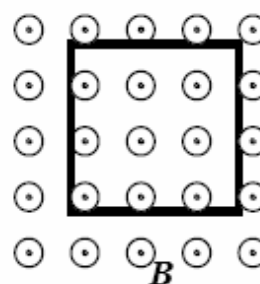
Nếu mẫu phóng xạ có nhiều kênh phân rã với thời gian bán rã tương ứng t_i thì thời gian bán rã t của mẫu được xác định bởi công thức $\frac{1}{t} = \sum_i \frac{1}{t_i}$. Do đó mẫu đã cho có thời gian bán rã

$$t = \frac{t_\alpha t_\beta}{t_\alpha + t_\beta} = \frac{24 \cdot 36}{24 + 36} = 14,4 \text{ phút}$$

Câu 19

Một khung dây dẫn hình vuông đặt trong từ trường đều $\mathbf{B}$, mặt phẳng của khung vuông góc với phương từ trường như trong hình vẽ. Khi dạng khung dây này được chuyển đều sang hình tròn trong cùng mặt phẳng, trong khung dây có dòng điện hay không?

- A. Có dòng điện theo chiều kim đồng hồ.
- B. Không có dòng điện.
- C. Có dòng điện ngược chiều kim đồng hồ.
- D. Không có kết luận gì.



Đáp án: A

Hình tròn có diện tích lớn hơn hình vuông có cùng chu vi. Vì vậy, trong thời gian biến đổi khung hình vuông thành khung hình tròn, từ thông qua diện tích khung tăng lên, trong khung xuất hiện dòng điện cảm ứng. Theo định luật Lenz, dòng điện cảm ứng sinh ra từ trường ngược chiều với từ trường $\mathbf{B}$. Do đó, dòng điện cảm ứng có chiều theo chiều kim đồng hồ.

Câu 20

Cho một vật khối lượng m , nhiệt dung riêng C , ở nhiệt độ 500K , tiếp xúc với vật giống hệt nó ở nhiệt độ 100K . Hai vật được cách nhiệt với môi trường xung quanh. Hỏi entropy của hệ tăng một lượng bao nhiêu?

- A. $(4/3)mC$
- B. $mC \ln(9/5)$
- C. $-mC \ln(5/3)$
- D. $mC \ln(3)$

Đáp án: B

Nhiệt độ cuối của hệ là 300K . Độ biến thiên entropy của hệ là

$$\Delta S = \int_{500}^{300} \frac{mC dT}{T} + \int_{100}^{300} \frac{mC dT}{T} = mC \left(\ln \frac{300}{500} + \ln \frac{300}{100} \right) = mC \ln \frac{9}{5}$$

PHẦN GIẢI BÀI TẬP

CÂU 1

Xét chất khí lý tưởng lưỡng nguyên tử trong một xi lanh có pít tông chuyển động với tốc độ rất nhỏ so với tốc độ trung bình của các phân tử khí. Dùng thuyết động học phân tử của chất khí, hãy chứng minh hệ thức giữa áp suất và thể tích

$$PV^{\frac{7}{5}} = \text{const.}$$

Giả thiết rằng thành xi lanh và pít tông cách nhiệt, xét ở nhiệt độ không quá cao.

Bài giải

Chọn trục x trùng với trục của xi lanh. Ký hiệu u là tốc độ của pít tông trong xi lanh, v_x là thành phần x của vận tốc của phân tử khí đối với thành xi lanh. Xét hệ quy chiếu K chuyển động gắn với pít tông. Trong hệ quy chiếu này, thành phần x của phân tử khí đang xét là $v_x - u$. Theo thuyết động học phân tử, mọi va chạm của phân tử khí đều là va chạm đàn hồi. Khi phân tử va chạm với pít tông, thành phần x của vận tốc trong hệ quy chiếu K đổi dấu nhưng độ lớn không thay đổi. Do đó, vận tốc của phân tử sau va chạm trong hệ quy chiếu K là $-(v_x - u)$, còn đối với thành xi lanh, vận tốc đó là $-(v_x - u) + u = -v_x + 2u$. Thành phần y và z của vận tốc không thay đổi trong quá trình va chạm.

Động năng của phân tử thay đổi một lượng

$$\frac{1}{2}m(v_x - 2u)^2 - \frac{1}{2}mv_x^2 \approx -2mv_x u, \quad (1)$$

nếu ta bỏ qua số hạng chứa u^2 . Ở đây m là khối lượng của phân tử.

Ký hiệu V là thể tích khối khí, S là tiết diện ngang của xi lanh, N là số phân tử trong khối khí, $f(v_x)$ là hàm phân bố phân tử theo thành phần vận tốc v_x . Số phân tử trong khối khí có thành phần x của vận tốc nằm trong khoảng $(v_x, v_x + dv_x)$ là

$$dN = N f(v_x) dv_x.$$

Số phân tử có thành phần vận tốc nói trên va chạm với pít tông trong một đơn vị thời gian là

$$\frac{dN}{V} S v_x = \frac{N}{V} S v_x f(v_x) dv_x.$$

Biến thiên nội năng trong một đơn vị thời gian của khối khí là

$$\frac{dU}{dt} = -\frac{2Nm u}{V} S \int_0^\infty v_x^2 f(v_x) dv_x = -\frac{Nm u}{V} S \overline{v_x^2} = -\frac{1}{3} \frac{Nm u}{V} S \overline{v^2}. \quad (2)$$

Theo định luật phân bố đều năng lượng theo bậc tự do, ta có

$$\frac{1}{2} m \overline{v^2} = \frac{3}{2} kT \quad \rightarrow \quad kT = \frac{1}{3} m \overline{v^2} ,$$

$$U = NL \text{ chuyển động tịnh tiến} + NL \text{ chuyển động quay}$$

$$= \frac{1}{2} N m \overline{v^2} + N kT$$

$$= \frac{1}{2} N m \overline{v^2} + \frac{1}{3} N m \overline{v^2} = \frac{5}{6} N m \overline{v^2} . \quad (3)$$

Theo phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử ta có

$$PV = \frac{1}{3} N m \overline{v^2} = \frac{2}{5} U . \quad (4)$$

Mặt khác, $dV = S \, u \, dt$. Do đó từ (2) rút ra

$$dU = -\frac{1}{3} \frac{N m u}{V} S \overline{v^2} dt = -PV \frac{1}{V} dV = -P dV . \quad (5)$$

Lấy vi phân hai vế phương trình (4), kết hợp với (5), ta nhận được

$$d(PV) = -\frac{2}{5} P dV ,$$

$$\text{hay} \quad dP V + P dV = -\frac{2}{5} P dV . \quad (6)$$

Lấy tích phân hai vế của phương trình trên, ta rút ra

$$PV^{\frac{7}{5}} = \text{hằng số} . \quad (7)$$

CÂU 2

Cho một ống trụ bán kính R có chiều dài L rất lớn, đặt nằm ngang, có thể quay tự do quanh trục ống trụ với mô men quán tính I . Vật liệu chế tạo ống là chất cách điện và không từ tính. Một sợi dây không khối lượng quấn quanh ống trụ và treo vật khối lượng m . Tại thời điểm $t=0$ vật m được thả rơi từ trạng thái đứng yên.

- Xác định gia tốc góc và động năng của hệ sau khi vật m rơi được một khoảng h .
- Một lượng điện tích dương Q có khối lượng không đáng kể được phân bố đều trên bề mặt ống trụ trước khi thả vật m . Hãy xác định gia tốc góc và động năng của hệ sau khi vật m rơi được một khoảng h .
Hãy tính độ chênh lệch động năng của hệ giữa hai trường hợp $Q=0$ và $Q \neq 0$. Hãy cho biết tại sao có sự chênh lệch này.

Bỏ qua ma sát và sức cản của không khí.

Bài giải

- Ký hiệu α là gia tốc góc của ống trụ. Phương trình chuyển động của ống trụ là

$$I\alpha = TR, \quad (1)$$

trong đó T là sức căng của dây.

Phương trình chuyển động của vật m là

$$-T + mg = ma = m\alpha R. \quad (2)$$

Ở đây a ký hiệu gia tốc của vật, g là gia tốc trọng trường. Từ đó rút ra gia tốc góc là

$$\alpha = \frac{mgR}{I + mR^2}. \quad (3)$$

Động năng của hệ là

$$K = \frac{1}{2}I\omega^2 + \frac{1}{2}m(\omega R)^2. \quad (4)$$

Ta có

$$h = \int_0^h dh = R \int_0^t \omega dt. \quad (5)$$

Mặt khác, ta có

$$\omega \alpha dt = \omega d\omega = d(\omega^2)/2 \quad \text{hay} \quad \omega dt = 1/(2\alpha) d(\omega^2). \quad (6)$$

Thay (6) vào (5), ta nhận được

$$h = R/(2\alpha) \omega^2 \quad \text{hay} \quad \omega^2 = 2\alpha h/R. \quad (7)$$

Thay (7) vào (4) và chú ý đến (3), ta có biểu thức cho động năng của hệ

$$K = \frac{1}{2} \left(I + mR^2 \right) \frac{2h}{R} \left(\frac{mgR}{I + mR^2} \right) = mgh. \quad (8)$$

Như vậy, động năng của hệ bằng biến thiên thế năng của vật khối lượng m. Đó chính là định luật bảo toàn năng lượng.

b. Khi ống trụ tích điện quay quanh trục của nó, ống trụ giống như một ống solenoid có dòng điện chạy trong đó. Từ trường trong lòng ống trụ là từ trường đều, hướng song song với trục ống trụ. Chia ống trụ thành các vành cùng có độ dày dx . Cường độ dòng điện chạy trong vành tại thời điểm t là

$$J(t) = \frac{Q}{2\pi R L} dx \cdot 2\pi R \frac{\omega}{2\pi} = \frac{Q\omega}{2\pi L} dx. \quad (9)$$

Từ trường trong lòng ống trụ có cảm ứng từ B

$$B = \mu_0 \frac{Q\omega}{2\pi L} dx \frac{L}{dxL} = \mu_0 \frac{Q\omega}{2\pi L}. \quad (10)$$

Ở đây $\omega \equiv \omega(t)$ là tốc độ góc tức thời tại thời điểm t .

Ống trụ quay với gia tốc góc $\alpha = \frac{d\omega}{dt}$, do đó B tăng theo thời gian. Theo định

luật Faraday, trên mặt ống trụ xuất hiện điện trường E có phương tiếp tuyến với mặt trụ và vuông góc với trục ống trụ. Do đối xứng, điện trường E có độ lớn như nhau tại mọi điểm trên mặt trụ. Ta có

$$2\pi R E = -\frac{d}{dt}(B\pi R^2) = -\mu_0 \frac{QR^2}{2L} \frac{d\omega}{dt},$$

hay

$$E = -\frac{\mu_0 QR}{4\pi L} \alpha \quad (11)$$

Theo định luật Lenz, điện trường E tác dụng lên ống trụ mô men lực QER chống lại chuyển động quay của ống trụ. Phương trình chuyển động của ống trụ và của vật m là

$$I\alpha = TR + QER, \quad -T + mg = ma = m\alpha R \quad (12)$$

Từ đó rút ra

$$\alpha = \frac{mgR}{I + mR^2 + \mu_0 Q^2 R^2 / (4\pi L)} \quad (13)$$

Động năng của hệ được cho bởi biểu thức (4)

$$K = \frac{1}{2} I \omega^2 + \frac{1}{2} m (\omega R)^2$$

Thay (7) và (13) vào (4), ta nhận được biểu thức cho động năng của hệ

$$K = mgh \frac{I + mR^2}{I + mR^2 + \mu_0 Q^2 R^2 / (4\pi L)} \quad (14)$$

So sánh (14) và (8), ta thấy trong trường hợp $Q \neq 0$, động năng của hệ giảm đi so với trường hợp $Q = 0$. Độ chênh lệch động năng giữa hai trường hợp là

$$\Delta K = K(Q=0) - K(Q) = mgh \frac{\mu_0 Q^2 R^2}{4\pi L [I + mR^2 + \mu_0 Q^2 R^2 / (4\pi L)]} \quad (15)$$

Năng lượng của từ trường là

$$\begin{aligned} W_m &= \frac{1}{2\mu_0} B^2 \pi R^2 L = \frac{1}{2\mu_0} \left(\mu_0 \frac{Q^2}{2\pi L} \right)^2 \omega^2 \pi R^2 L \\ &= mgh \frac{\mu_0 Q^2 R^2}{4\pi L [I + mR^2 + \mu_0 Q^2 R^2 / (4\pi L)]} \end{aligned} \quad (16)$$

Như vậy, độ chênh lệch động năng ΔK đúng bằng năng lượng của từ trường, nghĩa là thế năng của vật m chuyển thành động năng của hệ và năng lượng của từ trường.

CÂU 3

Hai kính phân cực không hoàn hảo, giống hệt nhau, được đặt trên đường đi của chùm ánh sáng tự nhiên (ánh sáng phát ra bởi một vật bị đốt nóng). Khi hướng phân cực của hai kính song song với nhau, ánh sáng truyền qua hệ kính có cường độ gấp $\beta=10$ lần cường độ ánh sáng truyền qua khi hướng phân cực của hai kính vuông góc với nhau. Hãy xác định độ phân cực của ánh sáng đi qua

a. từng kính phân cực riêng biệt.

b. hệ hai kính, khi hướng phân cực của chúng song song với nhau.

Chú thích :

Độ phân cực P của ánh sáng được định nghĩa bởi biểu thức

$$P = \frac{|I_{\parallel} - I_{\perp}|}{|I_{\parallel} + I_{\perp}|},$$

trong đó $I_{\parallel}$ và $I_{\perp}$ lần lượt là cường độ ánh sáng có phân cực song song và vuông góc với hướng đã chọn.

Bài giải

Ta có thể xem ánh sáng tự nhiên như là tổng của hai thành phần có mặt phẳng dao động của véc tơ điện trường vuông góc với nhau và có cùng cường độ I_0 . Giả sử mỗi kính phân cực cho đi qua một phần α_1 ánh sáng có mặt phẳng dao động song song với hướng phân cực của kính, một phần α_2 ánh sáng có mặt phẳng dao động vuông góc với hướng phân cực của kính. Như vậy, cường độ ánh sáng đi qua cả hai kính phân cực là

$$I_{\parallel} = \alpha_1^2 I_0 + \alpha_2^2 I_0 \quad (1)$$

nếu hai kính có hướng phân cực song song với nhau, và

$$I_{\perp} = \alpha_1 \alpha_2 I_0 + \alpha_2 \alpha_1 I_0 = 2 \alpha_1 \alpha_2 I_0 \quad (2)$$

nếu hướng phân cực của hai kính vuông góc với nhau. Ta có

$$\frac{I_{\perp}}{I_{\parallel}} \equiv \frac{1}{\beta} = \frac{2\alpha_1\alpha_2}{\alpha_1^2 + \alpha_2^2} \quad (3)$$

Do đó, giả thiết $\alpha_1 > \alpha_2$, ta rút ra

$$\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} = \sqrt{\frac{\beta - 1}{\beta + 1}} \quad (4)$$

a. Độ phân cực của ánh sáng truyền qua từng kính riêng biệt là

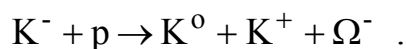
$$P = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} = \sqrt{\frac{\beta - 1}{\beta + 1}} = 0,905 \quad (5)$$

b. Nếu hướng phân cực của hai kính song song với nhau, ánh sáng truyền qua hệ hai kính có độ phân cực là

$$\begin{aligned} P &= \frac{\alpha_1^2 - \alpha_2^2}{\alpha_1^2 + \alpha_2^2} = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} \frac{(\alpha_1 + \alpha_2)^2}{\alpha_1^2 + \alpha_2^2} \\ &= \sqrt{\frac{\beta - 1}{\beta + 1}} \left(1 + \frac{2\alpha_1\alpha_2}{\alpha_1^2 + \alpha_2^2} \right) = \sqrt{\frac{\beta - 1}{\beta + 1}} \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 0,995 \quad (6) \end{aligned}$$

CÂU 4

Hạt omega Ω^- mang điện tích âm được sinh ra trong phản ứng



Ở đây, K^- , K^+ và K^0 là các meson lần lượt mang điện tích âm, dương và trung hòa (gọi là các kaon); p là proton.

- a. Dựa trên biến đổi Lorentz đối với vận tốc, hãy dẫn ra công thức biến đổi đối với xung lượng và năng lượng

$$p_x = \gamma_0 \left(p'_x + E' \frac{V}{c^2} \right), \quad p_{y,z} = p'_{y,z}, \quad \frac{E}{c} = \gamma_0 \left(\frac{E'}{c} + p'_x \frac{V}{c} \right), \quad \gamma_0 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}},$$

trong đó $\vec{p}, E$ và $\vec{p}', E'$ là các đại lượng xét trong hệ quy chiếu S và S' , hệ S' chuyển động với vận tốc V theo chiều dương của trục x trong hệ S .

- b. Hãy xác định xung lượng tối thiểu của hạt K^- trong hệ quy chiếu phòng thí nghiệm để phản ứng nói trên xảy ra, nếu hạt proton đứng yên trong phòng thí nghiệm.
- c. Giả thiết rằng hạt Ω^- được sinh ra trong phản ứng này khi hạt K^- có xung lượng tối thiểu. Hãy tính xác suất hạt Ω^- đi được 3cm trong phòng thí nghiệm trước khi phân rã, biết rằng thời gian sống của nó (trong hệ quy chiếu riêng) là $\tau = 1,3 \cdot 10^{-10}$ s.

Cho biết khối lượng nghỉ của K^-, K^+, K^0, Ω^- và p lần lượt là 494, 494, 498, 1675 và 938 MeV/c². Bỏ qua mọi tương tác của hạt Ω^- .

Bài giải

- a. Biến đổi Lorentz đối với vận tốc

$$v_x = \frac{v'_x + V}{1 + \frac{v'_x V}{c^2}}, \quad v_{y,z} = \frac{v'_{y,z}}{\gamma_0 \left(1 + \frac{v'_x V}{c^2} \right)}.$$

Do đó

$$v^2 = \frac{(v'_x + V)^2 + (v'^2_y + v'^2_z) \left(1 - \frac{V^2}{c^2} \right)}{\left(1 + \frac{v'_x V}{c^2} \right)^2}.$$

Từ đó dễ dàng suy ra

$$\gamma = \gamma' \gamma_0 \left(1 + \frac{v'_x V}{c^2} \right),$$

trong đó $\gamma^{-1} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \gamma'^{-1} = \sqrt{1 - \frac{v'^2}{c^2}}$. Ta có

$$p_x = m\gamma v_x = m\gamma \frac{v'_x + V}{1 + \frac{v'_x V}{c^2}} = m\gamma (v'_x + V) \frac{\gamma' \gamma_0}{\gamma}$$

$$= \gamma_0 (m\gamma' v'_x + m\gamma' V) = \gamma_0 \left(p'_x + E' \frac{V}{c^2} \right) .$$

Tương tự, ta nhận được

$$p_{y,z} = m\gamma v_{y,z} = m\gamma \frac{v'_{y,z}}{\gamma_0 \left(1 + \frac{v'_x V}{c^2} \right)} = m\gamma v'_{y,z} \frac{\gamma'}{\gamma} = p'_{y,z} ,$$

$$\frac{E}{c} = m\gamma c = mc\gamma_0\gamma' \left(1 + \frac{v'_x V}{c^2} \right) = \gamma_0 \left(\frac{m\gamma' c^2}{c} + m\gamma' v'_x \frac{V}{c} \right)$$

$$= \gamma_0 \left(\frac{E'}{c} + p'_x \frac{V}{c} \right) .$$

b. Ta có

$$p = \gamma_0 [p' + (V/c) (E'/c)] , \quad E/c = \gamma_0 [E'/c + (V/c) p'] , \quad (1)$$

trong đó p và E , p' và E' là xung lượng và năng lượng tổng cộng của hệ hai hạt trước phản ứng xét trong hệ quy chiếu phòng thí nghiệm S và hệ quy chiếu khối tâm S' , V là tốc độ của S' so với S . Ta có

$$p' = 0 , \quad E' = \frac{E}{\gamma_0} = \sqrt{E^2 - (cp)^2} , \quad \gamma_0^{-1} = \sqrt{1 - \left(\frac{V}{c} \right)^2} . \quad (2)$$

Để phản ứng có thể xảy ra, E' phải thỏa mãn điều kiện

$$E' \geq (m_{K^0} + m_{K^+} + m_{\Omega^-}) c^2 . \quad (3)$$

Do đó

$$\sqrt{\left[\sqrt{m_{K^-}^2 c^4 + (pc)^2} + m_p c^2 \right]^2 - (pc)^2} \geq (m_{K^0} + m_{K^+} + m_{\Omega^-}) c^2$$

hay

$$T \geq \frac{[(m_{K^0} + m_{K^+} + m_{\Omega^-})^2 - (m_{K^-} + m_p)^2] c^2}{2m_p} . \quad (4)$$

Ở đây, T là động năng của kaon K^- . Thay giá trị khối lượng nghỉ của các hạt vào (4), ta nhận được

$$T \geq 2698 \text{ MeV} . \quad (5)$$

Xung lượng p của hạt K^- liên hệ với động năng T bởi biểu thức

$$p = \frac{1}{c} \sqrt{(T + m_{K^-} c^2)^2 - m_{K^-}^2 c^4} . \quad (6)$$

Do đó xung lượng tối thiểu của hạt K^- là

$$p_{\min} = 3154 \text{ MeV}/c \quad . \quad (7)$$

c. Từ (1) suy ra tốc độ V của hệ S' đối với hệ S được cho bởi biểu thức

$$V = \frac{c^2 p}{\gamma_0 E'} = \frac{c^2}{E} p = c \frac{pc}{m_p c^2 + \sqrt{m_{K^-}^2 c^4 + (pc)^2}} \\ = 0,764 c \quad . \quad (8)$$

Tương ứng,

$$\gamma_0 = 1,55 \quad .$$

Tốc độ của hạt Ω^- trong hệ tọa độ phòng thí nghiệm bằng tốc độ của hệ S' đối với hệ S, tức là bằng V. Do đó, thời gian cần thiết để hạt Ω^- đi được quãng đường $d = 3\text{cm}$ trong phòng thí nghiệm là

$$t = \frac{d}{V} = 1,309 \cdot 10^{-10} \text{ s} \quad , \quad (9)$$

tương ứng với thời gian riêng của hạt Ω^- là

$$t_0 = \frac{t}{\gamma_0} = 0,845 \cdot 10^{-10} \text{ s} \quad . \quad (10)$$

Vậy xác suất hạt Ω^- đi được 3cm trong phòng thí nghiệm trước khi phân rã là

$$W = e^{-\frac{t_0}{\tau}} = 0,52 \quad . \quad (11)$$

ĐỀ VÀ ĐÁP ÁN PHẦN THỰC NGHIỆM

SPhO XV – 2012, Tây Nguyên

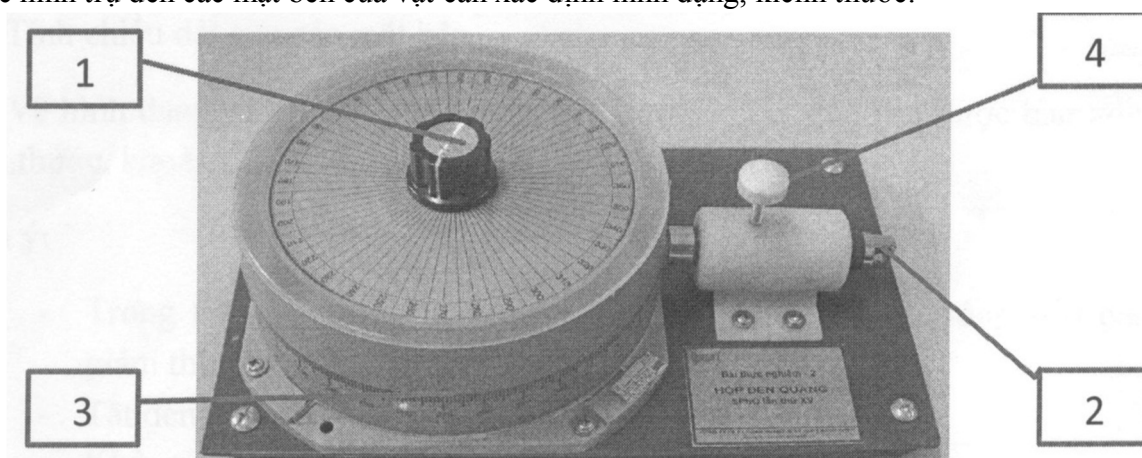
HỘP ĐEN QUANG HỌC

I. MỤC ĐÍCH THÍ NGHIỆM

Xác định hình dạng, kích thước một vật không nhìn thấy được dựa trên tính phản xạ ánh sáng trên bề mặt vật.

II. DỤNG CỤ THÍ NGHIỆM

Một hộp hình trụ kín, từ ngoài không thể nhìn thấy được vật để bên trong. Biết rằng vật để trong hình hộp có mặt trên và mặt dưới là hai mặt song song cách nhau $h = 1\text{ cm}$ và song song với hai mặt đáy của hình trụ. Các mặt xung quanh của vật đều là các mặt phẳng vuông góc với mặt trên và mặt dưới của vật. Các mặt phẳng ở xung quanh này đều được tráng gương để phản xạ tốt ánh sáng. Vật được gắn chặt với một trục đi qua vật và vuông góc với hai mặt trên dưới của vật, trục này trùng với trục hình trụ. Từ ngoài có thể điều khiển vật quay quanh trục thông qua việc xoay núm vặn (1). Biết bán kính hộp hình trụ là $R = 6,25\text{ cm}$ và lớn hơn nhiều so với khoảng cách từ trục hình trụ đến các mặt bên của vật cần xác định hình dạng, kích thước.



Bên ngoài hộp hình trụ có một bút lade (2) được gắn cố định và chiếu một tia lade theo phương vuông góc với trục và đi qua trục hình trụ. Khi tia lade chiếu đến gặp mặt bên của vật, tia lade bị phản xạ và tia phản xạ tạo thành điểm sáng rõ nét ở trên mặt xung quanh (3) có chia độ của hộp hình trụ.

III. YÊU CẦU THÍ NGHIỆM

1. Bật sáng đèn lade để tia lade chiếu đến vật và cho tia phản xạ tạo thành điểm sáng trên mặt bên có độ chia của hộp hình trụ. Ban đầu để mũi kim chỉ ứng với vị trí góc 0^0 (360^0) sẽ thấy điểm sáng phản xạ trùng vị trí 0. Xoay núm vặn 1 để vật quay sẽ thấy điểm sáng ở trên (3) thay đổi. Gọi góc quay của vật so với phương tia lade chiếu đến là α , góc tạo bởi phương tia lade chiếu đến và phương của trục hình trụ đến điểm sáng là β . Trình bày bảng số liệu và vẽ đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của β theo α với bước nhảy của α là 5^0 .
2. Từ đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc β theo α , hãy đưa ra nhận xét và giải thích về dáng điệu đồ thị thu được.
3. Dựa trên bảng số liệu và đồ thị thu được, hãy xác định số mặt bên của vật và giá trị các góc giữa hai mặt bên liên kế của vật.
4. Trình bày cách xác định hình dáng, kích thước của vật bao gồm:

- Thiết lập công thức toán học biểu diễn mối quan hệ α , β , R và khoảng cách r từ trục quay đến mặt bên của vật đối với mặt bên của vật đang khảo sát.
- Xác định các khoảng cách từ trục quay đến các mặt bên của vật.
- Tính chiều dài của các mặt bên.
- Vẽ hình dạng và ghi chú trên hình vẽ tất cả các kết quả tìm được bao gồm kích thước, khoảng cách trục quay đến mặt, góc giữa các mặt.

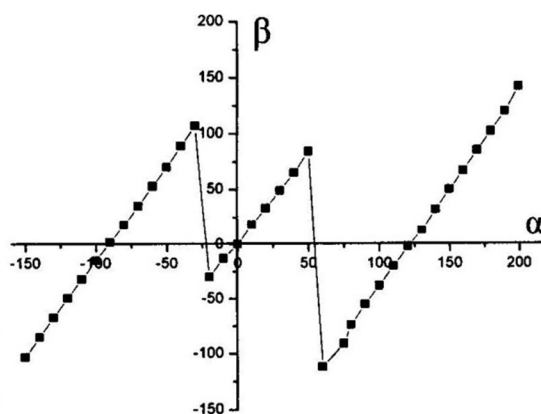
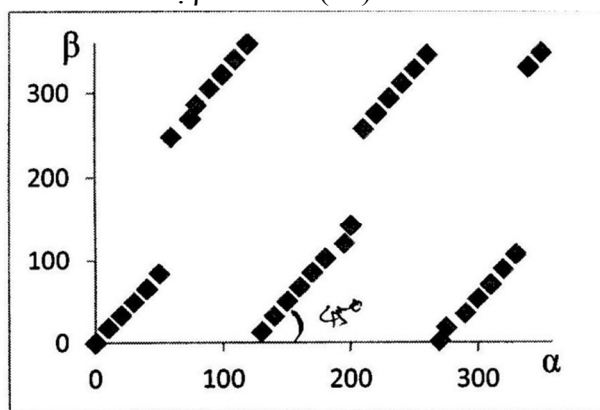
Lưu ý:

- Trong trường hợp điểm sáng lade không rõ nét cần thông báo với giám thị để thay pin.
- Tắt đèn lade khi không sử dụng.
- Không cần tính sai số cho các giá trị thu được.

HƯỚNG DẪN CHẤM THỰC NGHIỆM

1. Bảng số liệu và đồ thị về sự phụ thuộc của β theo α với bước nhảy α là 5° .

- Bảng số liệu: (1đ)
- Đồ thị β theo α : (2đ)



2. Nhận xét về dáng điệu đồ thị thu được.

- Đồ thị bao gồm các đoạn thẳng và có các bước nhảy gián đoạn. (2đ)
- Xét về tính tuần hoàn, đồ thị có 03 đoạn thẳng, (1đ)

3. Xác định số mặt bên của vật và giá trị các góc giữa hai mặt bên liên kế của vật.

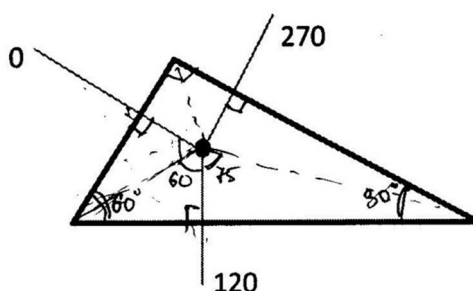
- Xác định số mặt bên của vật: (2đ)

C1: Dựa vào đồ thị thấy có 03 đoạn thẳng chứng tỏ có 03 mặt

C2: Dựa vào tia phản xạ và tia tới trùng nhau, có 03 giá trị của α thỏa mãn chứng tỏ có 03 mặt.

- Xác định giá trị góc giữa hai mặt bên liên kế: (2đ)

Dựa trên 3 giá trị α là 0, 120, 270° có tia tới và tia phản xạ trùng nhau nên giá trị 3 góc giữa hai mặt bên của vật là 90, 30, 60° (Giá trị thực của 3 góc là: 90, 35, 55°)



4. Xác định hình dạng, kích thước của vật

- Công thức toán học biểu diễn mối quan hệ α , β , R và khoảng cách r (3đ)

C1: Lý giải và đưa ra được công thức gần đúng biểu diễn mối quan hệ giữa β , α , R và r_i (khoảng cách từ mặt bên i đến trục hình trụ) $\beta = 2\alpha \left(1 - \frac{r_i}{R}\right)$.

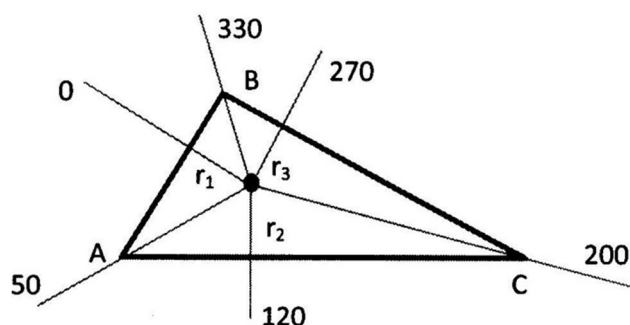
C2: Vẽ hình và xây dựng được công thức chính xác: $\sin(2\alpha - \beta) = 2 \sin \alpha \cdot \frac{r_i}{R}$

- Dựa vào độ nghiêng của các đoạn thẳng trên đồ thị về sự phụ thuộc β theo α hoặc $\sin(2\alpha - \beta)$ theo $\sin \alpha$ ta được các giá trị r_i :

$$r_1 = 1,23 \text{ cm}; \quad r_2 = 0,64 \text{ cm}; \quad r_3 = 0,84 \text{ cm} \quad (3\text{đ})$$

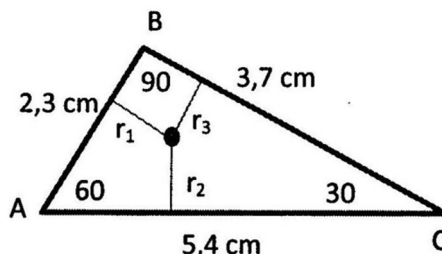
- Tính được ra kích thước các cạnh (3đ)

Từ bảng số liệu về sự phụ thuộc β theo α ta có:



Tính được $AB \sim 3,2 \text{ cm}$; $AC \sim 5,4 \text{ cm}$; $BC \sim 4 \text{ cm}$.

- Vẽ hình dáng của vật: Vẽ và ghi đầy đủ các thông số (1đ)



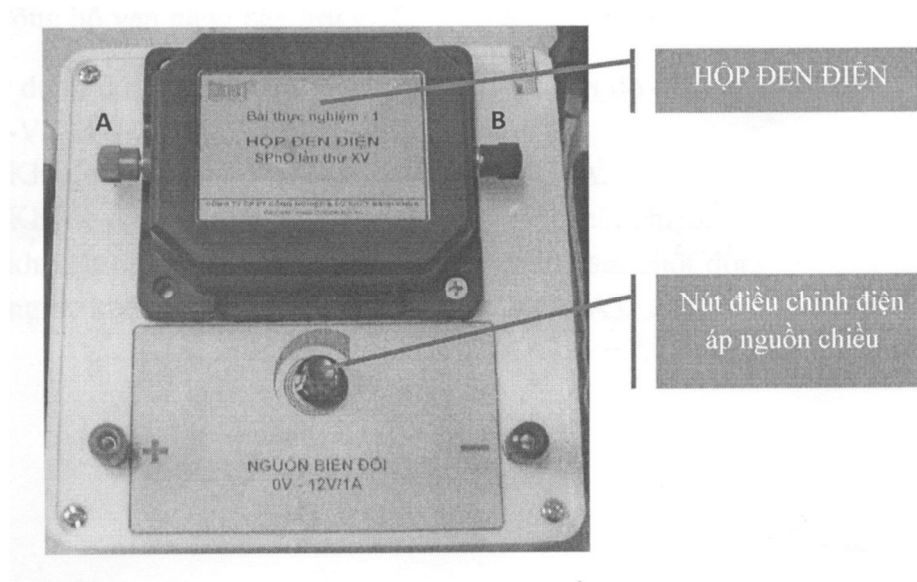
HỘP ĐEN ĐIỆN

I. MỤC ĐÍCH THÍ NGHIỆM

Sử dụng phương pháp gián tiếp để xác định loại linh kiện điện tử và mạch ghép nối các linh kiện.

II. DỤNG CỤ THÍ NGHIỆM

- 01 Hộp kín không thể quan sát được bên trong từ bên ngoài hộp, có hai đầu ra A và B. Trong hộp chứa 03 linh kiện điện được mắc tổ hợp với nhau. Mạch tổ hợp có 2 đầu ra được nối với A và B.
- 01 Nguồn điện một chiều biến đổi có điện áp thay đổi được từ 0 - 12 V.
- 02 Đồng hồ đo điện vạn năng.
- 05 Dây nối điện.



III. YÊU CẦU THÍ NGHIỆM

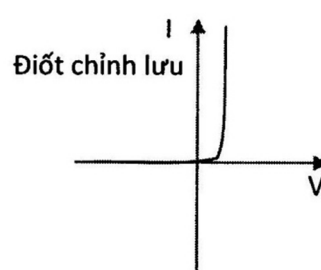
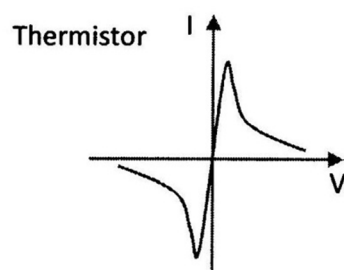
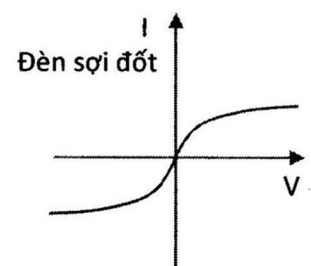
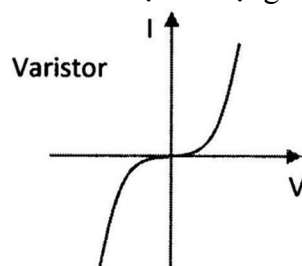
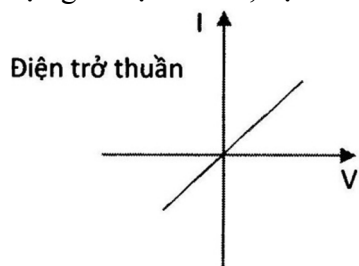
1. Vẽ sơ đồ mắc mạch để khảo sát đặc trưng I-V (Vôn – Ampe) của hộp đen.
2. Khảo sát đặc trưng I-V của hộp đen với **giá trị lớn nhất của điện áp khảo sát rơi trên hộp đen là 8 V và dòng lớn nhất chạy qua hộp đen là 0,8 A.**

Trình bày bảng số liệu và vẽ đặc trưng I-V của hộp đen điện.

3. Từ đặc trưng I-V của hộp đen, xác định 3 linh kiện trong hộp đen là gì, vẽ sơ đồ ghép nối tổ hợp ba linh kiện đó. Giải thích.

4. Với cách ghép nối đó, từ đường đặc trưng I - V của hộp đen có thể tìm những giá trị đặc trưng của linh kiện nào? Vì sao?. Cho biết những giá trị đặc trưng đó. **Không cần tính sai số của các giá trị thu được.**

Cho biết: 03 linh kiện trên thuộc 05 linh kiện ở dưới. Trong dải điện áp và dòng khảo sát đã được giới hạn ở trên, đặc trưng I-V của các linh kiện có dạng:



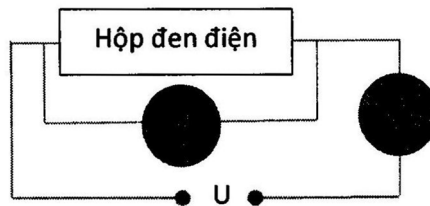
Khi sử dụng đồng hồ vạn năng hãy lưu ý:

- Nên sử dụng đồng hồ nhỏ đo dòng và đồng hồ lớn đo điện áp khi khảo sát đặc trưng I-V.
- Khi đo dòng nên để ở thang 10 A và 200 mA.
- Khi đo điện áp nên để ở thang 20 V và 2 V một chiều.

- Trước khi bật nguồn điện hãy kiểm tra kỹ chân cắm chốt đồng hồ có phù hợp với thang đo không (đặc biệt thang 10 A và 200 mA).

HƯỚNG DẪN CHẤM THỰC NGHIỆM

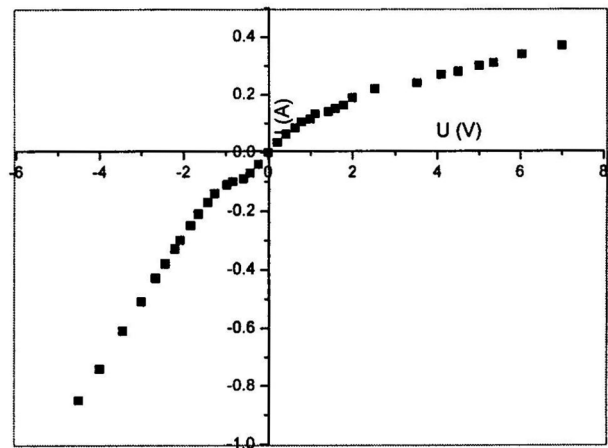
1. Vẽ sơ đồ mắc mạch để khảo sát đặc trưng Vôn – Ampe của hộp đen (2đ)



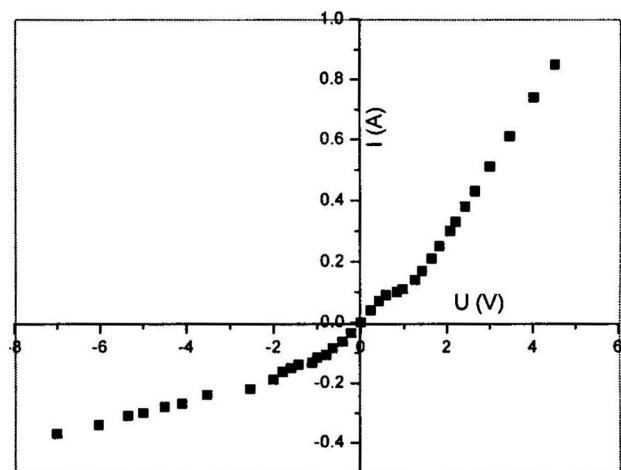
2. Bảng số liệu đúng (2đ)

V (V)	I (A)	V(V)	I(A)
-7	-0.37	0	0
-6.03	-0.34	0.23	0.04
-5.35	-0.31	0.425	0.07
-5	-0.3	0.586	0.09
-4.5	-0.28	0.836	0.1
-4.1	-0.27	0.975	0.11
-3.52	-0.24	1.265	0.14
-2.53	-0.22	1.423	0.17
-2	-0.189	1.648	0.21
-1.79	-0.163	1.83	0.25
-1.6	-0.151	2.08	0.3
-1.43	-0.14	2.2	0.33
-1.115	-0.133	2.43	0.38
-1	-0.115	2.66	0.43
-0.79	-0.106	3	0.51
-0.64	-0.085	3.45	0.61
-0.419	-0.063	4	0.74
-0.216	-0.035	4.5	0.85
0	0		

- Dựng được đồ thị I-V (3đ)



Hoặc đồ thị:



* Nếu chỉ khảo sát 1 chiều (1 nhánh): (1đ)

3. Xác định linh kiện và sơ đồ mắc linh kiện từ đặc trưng I-V.

- Xác định linh kiện.

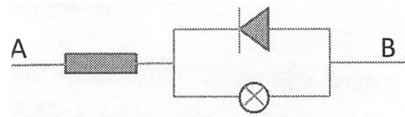
+ Đường I-V bất đối xứng khi đảo chiều điện áp cấp cho hộp đen --> có linh kiện điốt (2đ).

+ Trên nhánh I-V xuất hiện đoạn có I tỉ lệ thuận với V. Nhánh này dòng tăng nhanh nên ứng với điốt phân cực thuận. Đoạn này có linh kiện điện trở không đổi --> có linh kiện điện trở (2đ).

+ Trong dải khảo sát với điện áp rơi trên hộp đen nhỏ, cả chiều thuận và chiều nghịch có tính đối xứng giống như đặc trưng đèn sợi đốt --> có linh kiện đèn sợi đốt (2đ).

- Vẽ mạch điện tổ hợp của các linh kiện (4đ)

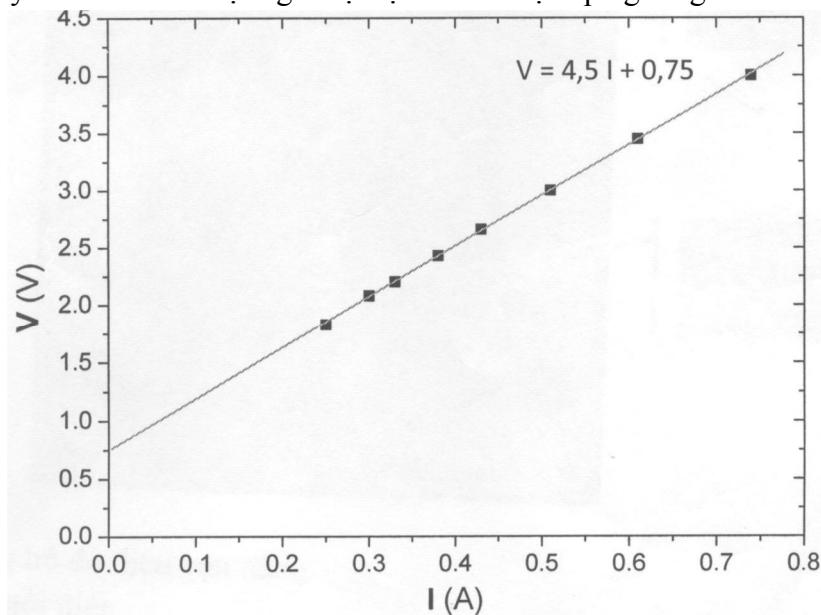
Sử dụng các mạch tổ hợp có thể có của 3 linh kiện rồi phân tích, khớp với đường I-V thu được để đưa ra mạch.



Nếu chỉ đưa ra mạch và không trình bày việc phân tích: 3đ

4. Chỉ ra các giá trị đặc trưng

Sử dụng đoạn tuyến tính để xác định giá trị điện trở và điện áp ngưỡng của điốt



- Giá trị điện trở $R \sim 4,5 \Omega$ (2đ)

- Điện áp ngưỡng của điốt $U_{ng} \sim 0,75 \text{ V}$ (2đ)

- Điện trở của đèn ở nhiệt độ phòng: Đo điện trở hai đầu A, B của hộp đen và trừ đi giá trị R , $R_D \sim 2,7 \Omega$ (1đ).

Đề và Đáp án trắc nghiệm

Câu 1. Hai tụ điện phẳng giống nhau có diện tích mỗi bản tụ là S và khoảng cách giữa các bản là d , giữa các bản tụ là không khí. Tích điện cho 2 tụ đến hiệu điện thế U rồi nối các bản tụ mang điện cùng dấu với nhau bằng dây dẫn có điện trở không đáng kể. Nếu các bản của một tụ dịch lại gần nhau với tốc độ v và các bản của tụ còn lại dịch ra xa nhau cũng với tốc độ v thì dòng điện chạy trong dây dẫn là:

- A. $\frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d^2} vU$ B. $\frac{\epsilon\epsilon_0 S}{2d^2} vU$ C. $\frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d} vU$ D. $\frac{\epsilon\epsilon_0 S}{2d} vU$

Đáp án: A

Lời giải: Tổng điện tích 2 tụ: $q_1 + q_2 = 2C_0U$ (1) với $C_0 = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$.

Khi các bản tụ dịch chuyển thì $\frac{C_1}{C_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{d+vt}{d-vt} \Rightarrow \frac{q_1}{q_2} = \frac{C_1U_1}{C_2U_2} = \frac{d+vt}{d-vt}$ (2) vì $U_1 = U_2 = U$

Từ (1) và (2) ta được $q_2 = \frac{d-vt}{d} C_0U \Rightarrow I = \left| \frac{dq_2}{dt} \right| = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d^2} vU$

Câu 2. Một vật sáng đặt cách màn 120 cm. Giữa vật và màn có một thấu kính hội tụ, vật đặt vuông góc với trục chính của thấu kính. Di chuyển thấu kính trong khoảng giữa vật và màn, người ta tìm được 2 vị trí của thấu kính cho ảnh rõ nét trên màn và quan sát được ảnh lớn gấp 9 lần ảnh nhỏ. Tiêu cự của thấu kính và tỉ số độ sáng giữa ảnh nhỏ và ảnh lớn là:

- A. 22,5 cm; 9. B. 22,5 cm; 81.
C. 10,8 cm; 9. C. 10,8 cm; 81.

Đáp án: A

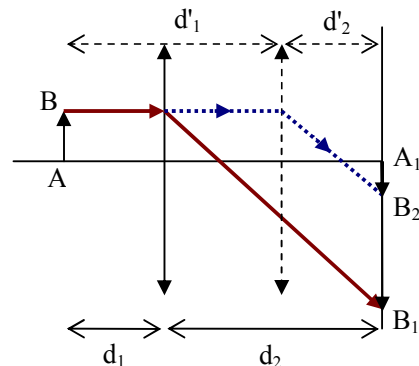
Lời giải: Theo nguyên lý thuận nghịch của chiều truyền ánh sáng ta có (A_1B_1 là ảnh lớn, A_1B_2 là ảnh nhỏ)

$$\begin{cases} d_1 = d'_2 \\ d_2 = d'_1 \end{cases} \Rightarrow \frac{A_1B_1}{A_1B_2} = \frac{A_1B_1}{AB} \cdot \frac{AB}{A_1B_2} = \frac{d'_1}{d_1} \cdot \frac{d_2}{d'_2} = \left(\frac{d'_1}{d_1} \right)^2 = 9$$

Mà $d_1 + d'_1 = 120 \text{ cm}$. Suy ra

$$\begin{cases} d_1 = d'_2 = 30 \text{ cm} \\ d'_1 = d_2 = 90 \text{ cm} \end{cases} \Rightarrow f = 22,5 \text{ cm}.$$

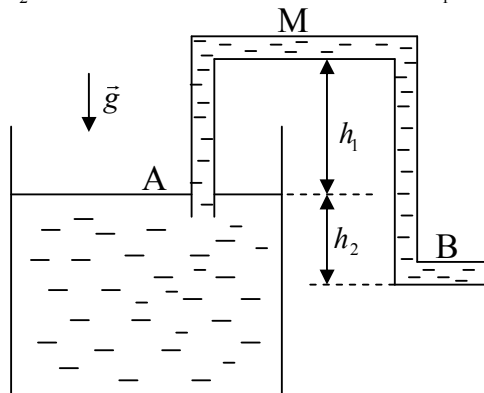
- Cường độ ánh sáng tại một điểm tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách tới nguồn nên quang thông tới thấu kính trong trường hợp d_1 chỉ bằng 1/9 quang thông tới thấu kính trong trường hợp d'_1 (vì $d_2 = 3d_1$).



- Toàn bộ ánh sáng tới thấu kính sẽ hội tụ trên ảnh nên quang thông tới ảnh A_1B_1 chỉ bằng $1/9$ quang thông tới ảnh A_1B_2 .
- Diện tích ảnh lớn A_1B_1 lại gấp 81 lần diện tích ảnh nhỏ A_1B_2

$\Rightarrow$ Độ sáng của ảnh nhỏ A_1B_2 gấp 9 lần độ sáng của ảnh lớn A_1B_1 .

Câu 3. Một ống Siphon dùng để lấy nước từ bình ra như hình vẽ. Biết áp suất khí quyển $p_0 = 10^5 \text{ Pa}$; gia tốc trọng trường $g = 9,8 \text{ m/s}^2$; khối lượng riêng của nước $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$. Nếu $h_2 = 3 \text{ m}$ thì chiều cao lớn nhất của h_1 để ống có thể hoạt động là:



- A. 7,2 m. B. 3,6 m. C. 3 m. D. 10,2 m.

Đáp án: A

Lời giải: Phương trình Bernoulli cho nước chảy trong ống tại A, M, C:

$$p_A + \frac{1}{2} \rho v_A^2 = p_0 \quad (1)$$

$$p_M + \frac{1}{2} \rho v_M^2 + \rho g h_1 = p_0 \quad (2)$$

$$p_0 + \frac{1}{2} \rho v_B^2 - \rho g h_2 = p_0 \quad (3)$$

Ở đây, p_M là áp suất tĩnh của nước tại điểm cao nhất của ống Siphon M. Từ (3)

$$v_B = \sqrt{2gh_2} \quad (4)$$

Với chất lỏng chảy ổn định, không nén thì $v_A = v_M = v_B = \sqrt{2gh_2}$

Để ống hoạt động thì $p_M \geq 0 \Rightarrow p_0 - \frac{1}{2} \rho \cdot 2gh_2 - \rho gh_1 \geq 0$

$$h_1 \leq \frac{p_0}{\rho g} - h_2 = 7,2 \text{ m}$$

Câu 4. Một radar phát sóng vô tuyến có tần số 9.10^9 Hz về phía một máy bay đang bay về phía nó. Radar thu được sóng có tần số có độ lệch 3.10^3 Hz so với sóng phát ra. Tốc độ truyền của sóng vô tuyến là 3.10^8 m/s . Tốc độ của máy bay là

- A. 540 km/h. B. 360 km/h. C. 180 km/h. D. 90 km/h.

Đáp án: C

Lời giải: Tần số sóng tới máy bay: $f_1 = \frac{c+v}{c} f_0$

Tần số sóng radar thu được: $f_2 = \frac{c}{c-v} f_1 = \frac{c+v}{c-v} f_0$

$$\Rightarrow \Delta f = |f_2 - f_0| = \frac{2v}{c-v} f_0 \approx \frac{2v}{c} f_0$$

$$\Rightarrow v = \frac{1}{2} \frac{\Delta f}{f_0} c = 50 \text{ m/s} = 180 \text{ km/h}.$$

Câu 5. Công suất của bức xạ phát ra bởi 1 đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian của một vật đen tuyệt đối ở nhiệt độ T là σT^4 . Trong đó σ là hằng số Stefan-Boltzmann có thể biểu diễn qua hằng số Boltzmann k , tốc độ ánh sáng c , hằng số Plank h theo công thức $\sigma = Ak^\alpha h^\beta c^\gamma$ với $A; \alpha; \beta; \gamma$ là các hằng số không thứ nguyên. $(\alpha; \beta; \gamma)$ nhận các giá trị tương ứng là

- A. $(4; -3; -2)$. B. $(-4; -3; 2)$.
C. $(4; 3; 2)$. D. $(-4; -3; -2)$.

Đáp án: A

Lời giải:

Ta có các thứ nguyên thể hiện qua các đơn vị tương ứng trong hệ SI là

$$[\sigma] = J.s^{-1}.m^{-2}.K^{-4}$$

$$[k] = J.K^{-1}$$

$$[h] = J.s$$

$$[c] = m.s^{-1}$$

So sánh thứ nguyên của các đại lượng tương ứng ở hai vế của công thức $\sigma = Ak^\alpha h^\beta c^\gamma$ hay $J.s^{-1}.m^{-2}.K^{-4} = (J.K^{-1})^\alpha (J.s)^\beta (m.s^{-1})^\gamma$, ta suy ra

$$\alpha = 4, \beta = -3, \gamma = -2$$

Câu 6. Một electron khối lượng m được gia tốc bằng hiệu điện thế U có bước sóng de Broglie là λ . Bước sóng de Broglie của một proton có khối lượng M cũng được gia tốc bằng hiệu điện thế U là

A. $\lambda \frac{m}{M}$ B. $\lambda \sqrt{\frac{m}{M}}$ C. $\lambda \frac{M}{m}$ D. $\lambda \sqrt{\frac{M}{m}}$

Đáp án: B

Lời giải: Liên hệ giữa động lượng và bước sóng của vi hạt $p = h / \lambda$ (công thức de Broglie), động lượng và năng lượng $E = p^2 / 2m$ cho hạt có khối lượng nghỉ khác không. Do đó

$$p = \frac{h}{\lambda} = \sqrt{2mE} \Leftrightarrow \lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE}} \text{ Từ đó bước sóng de Broglie của proton } \lambda_p \text{ là}$$

$$\frac{\lambda_p}{\lambda} = \sqrt{\frac{m}{M} \frac{E_e}{E_p}} = \sqrt{\frac{m}{M} \frac{eU}{eU}} \Rightarrow \lambda_p = \lambda \sqrt{\frac{m}{M}}$$

Câu 7. Giả sử do chiến tranh hạt nhân mà Trái đất bị bao bọc kín bởi một đám mây bụi mỏng khổng lồ có khả năng hấp thụ và bức xạ hết nhiệt lượng mà mặt trời cung cấp cho Trái đất hiện nay. Hỏi khi đó trái đất sẽ nóng lên hay lạnh đi tới nhiệt độ là bao nhiêu nếu trước đó nó có nhiệt độ trung bình là $T_0 = 300 \text{ K}$.

A. $T = 248 \text{ K}$ B. $T = 312 \text{ K}$ C. $T = 252 \text{ K}$ D. $T = 325 \text{ K}$

Đáp án : C

Nếu Trái đất bị bao bọc kín bởi lớp bụi hấp thụ hoàn toàn nhiệt lượng Q mà mặt trời cung cấp cho Trái đất khi chưa bị phủ và nhiệt lượng mà nó nhận được bây giờ chỉ là $Q/2$ (do nửa kia $Q/2$ bức xạ ra ngoài). So sánh công suất bức xạ cân bằng trong hai trường hợp trái đất không bị và bị lớp bụi phủ ta có:

$$\sigma T_0^4 = 2\sigma T^4 \quad ; \quad T = T_0/2^{1/4} = 252 \text{ K}$$

Câu 8. Hai chất điểm có cùng khối lượng m chuyển động tròn đều trên cùng quỹ đạo có bán kính R dưới tác dụng của lực hấp dẫn giữa chúng. Tốc độ của mỗi chất điểm là

A. $v = \frac{1}{2R} \sqrt{\frac{1}{Gm}}$ B. $v = \sqrt{\frac{G}{2R}}$ C. $v = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{Gm}{R}}$ D. $v = \sqrt{\frac{4Gm}{R}}$

Đáp án: C

Lời giải: Lực hấp dẫn đóng vai trò lực hướng tâm nên $\frac{Gm^2}{(2R)^2} = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow v = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{Gm}{R}}$.

Câu 9. Moment quán tính của một thanh đồng chất khối lượng m , chiều dài $2l$ đối với trục quay đi qua tâm thanh và tạo với thanh góc α là

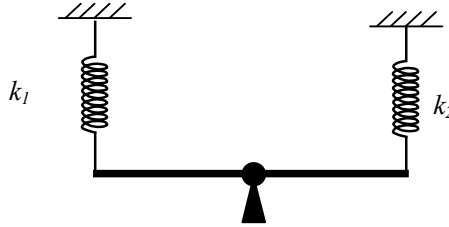
A. $\frac{ml^2}{3} \sin^2 \alpha$ B. $\frac{ml^2}{12} \sin^2 \alpha$

C. $\frac{ml^2}{3} \cos^2 \alpha$. D. $\frac{ml^2}{12} \cos^2 \alpha$.

Đáp án: A

Lời giải: Với $\alpha = 90^\circ$ thì $I = \frac{ml^2}{3}$ nên đáp án trong trường hợp này là A.

Câu 10. Một thanh đồng chất khối lượng M , chiều dài L có thể quay quanh khớp đi qua trung điểm của thanh. Hai đầu thanh được nối với 2 lò xo có độ cứng k_1 và k_2 như hình vẽ. Bỏ qua mọi ma sát. Chu kỳ dao động nhỏ của thanh là



A. $2\pi \sqrt{\frac{M}{3(k_1 + k_2)}}$ B. $2\pi \sqrt{\frac{M}{6(k_1 + k_2)}}$
 C. $2\pi \sqrt{\frac{M}{12(k_1 + k_2)}}$ D. $2\pi \sqrt{\frac{M}{(k_1 + k_2)}}$

Đáp án: A

Lời giải: Khi thanh quay được góc φ , độ dịch chuyển mỗi đầu thanh $\Delta l = \frac{L}{2} \varphi$ và vận tốc góc của sự quay là $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$. Do cơ năng là bảo toàn:

$$\frac{1}{2} k_1 \Delta l^2 + \frac{1}{2} k_2 \Delta l^2 + \frac{1}{2} \frac{ML^2}{12} \omega^2 = \text{const}$$

$$\frac{1}{2} (k_1 + k_2) \frac{L^2}{4} \varphi^2 + \frac{1}{2} \frac{ML^2}{12} \omega^2 = \text{const}$$

Đạo hàm 2 vế theo t ta được $(k_1 + k_2) \varphi + \frac{M}{3} \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = 0$

Suy ra chu kì dao động nhỏ của thanh $T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{3(k_1 + k_2)}}$

Câu 11. Một vòng dây tròn bán kính R được tích điện với mật độ đều λ . Độ lớn của cường độ điện trường tại điểm nằm trên trục của vòng dây và cách tâm vòng dây một khoảng R là

A. $\frac{\pi k \lambda}{\sqrt{2} R}$ B. $\frac{\pi k \lambda}{2 R}$ C. $\frac{\sqrt{2} \pi k \lambda}{R}$ D. $\frac{\pi k \lambda}{R}$

Đáp án: A

Lời giải: Xét 2 đoạn dây rất nhỏ chiều dài dl nằm đối xứng qua tâm vòng dây. Điện trường do 2 đoạn dây này gây ra tại điểm đang xét hướng dọc theo trục đối xứng của vòng dây và có độ lớn:

$$dE = 2 \frac{k \lambda dl}{2 R^2} \cos 45^\circ = \frac{k \lambda dl}{\sqrt{2} R^2}$$

Lấy tổng theo toàn bộ vòng dây ta được $E = \frac{k \lambda}{\sqrt{2} R^2} \pi R = \frac{\pi k \lambda}{\sqrt{2} R}$

Câu 12. Nếu chất bán dẫn tinh khiết đặt trong điện trường có cường độ E thì độ linh động của electron tự do μ_n và độ linh động của lỗ trống μ_p được xác định bởi $\overline{v_n} = \mu_n E$; $\overline{v_p} = \mu_p E$ (với $\overline{v_n}, \overline{v_p}$ là vận tốc cuốn trung bình của điện tử và lỗ trống). Biết mật độ của electron, mật độ lỗ trống bằng nhau và bằng n trong bán dẫn tinh khiết (còn gọi là bán dẫn riêng). Điện trở suất của bán dẫn là

A. $\frac{1}{ne(\mu_n + \mu_p)}$ B. $\frac{1}{ne(\mu_n - \mu_p)}$
C. $ne(\mu_n + \mu_p)$ D. $ne(\mu_n - \mu_p)$

Đáp án: A

Lời giải: Xét một khối bán dẫn có tiết diện S , chiều dài l , hai đầu khối được nối với hiệu điện thế U . Cường độ dòng điện chạy trong khối này:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{neS\overline{v_n}\Delta t + neS\overline{v_p}\Delta t}{\Delta t} = neS(\overline{v_n} + \overline{v_p})$$

Theo ĐL Ohm thì $R = \frac{\rho l}{S} = \frac{U}{I} = \frac{U}{neS(\overline{v_n} + \overline{v_p})}$

$$\Rightarrow \rho = \frac{U}{nel(\overline{v_n} + \overline{v_p})} = \frac{E}{ne(\mu_n E + \mu_p E)} = \frac{1}{ne(\mu_n + \mu_p)}$$

Câu 13. Người ta muốn làm nóng một lượng khí lý tưởng có khối lượng 2kg lên 5K. Nếu quá trình thực hiện ở áp suất không đổi thì cần cung cấp cho khối khí nhiệt lượng 9,1 kJ. Nếu quá trình thực hiện ở thể tích không đổi thì cần cung cấp cho khối khí nhiệt lượng 6,5 kJ. Khí trên là

A. Nitơ B. Oxy C. Heli D. Argon

Đáp án: B

Lời giải: Ta có $9,1.10^3 = \frac{m}{\mu} C_p \Delta T$ và $6,5.10^3 = \frac{m}{\mu} C_v \Delta T$

Trừ vế với vế của 2 phương trình trên: $2,6.10^3 = \frac{m}{\mu} R \Delta T$

Thay số tìm được $\mu = 0,032 (kg / mol)$. Khí đã cho là Oxy.

Câu 14. Meson π^+ được sinh ra trên tầng cao của khí quyển có thời gian sống $\Delta t = 2,2.10^{-8} s$ và chuyển động với tốc độ $0,99999999c$. Quãng đường hạt đi được cho tới khi biến mất là

- A. 46,7 m B. 6,6 m C. 6,6 km D. 46,7 km.

Đáp án: D

Lời giải: Trong HQC gắn với mặt đất, thời gian sống của hạt là $\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \approx 1,5556.10^{-4} s$

Quãng đường hạt đi được là $v.\Delta t' = 46,7 km$

Câu 15. Một dây dẫn hình trụ bán kính R_2 gồm lõi có bán kính $R_1 (R_2 = 2R_1)$, điện trở suất ρ_1 và vỏ là phần còn lại có điện trở suất $\rho_2 = 2\rho_1$. Dòng điện có cường độ I chạy trong dây dẫn đó. Cảm ứng từ tại điểm cách trục của dây một khoảng $r = 1,5R_1$ có độ lớn

- A. $\frac{0,75\mu_0 I}{3\pi R_1}$ B. $\frac{0,65\mu_0 I}{3\pi R_1}$ C. $\frac{0,85\mu_0 I}{3\pi R_1}$ D. $\frac{0,95\mu_0 I}{3\pi R_1}$

Đáp án: B

Lời giải: Dòng điện gồm I_1 chạy trong lõi và I_2 chạy trong vỏ:

$$I_1 + I_2 = I \text{ và } \frac{I_1}{I_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \frac{S_1}{S_2} = \frac{\rho_2 R_1^2}{\rho_1 (R_2^2 - R_1^2)} = \frac{2}{3} \Rightarrow I_1 = \frac{2}{5} I; I_2 = \frac{3}{5} I$$

Dòng điện chạy trong phần dây giới hạn bởi bán kính r là $I' = I_1 + I_2 \cdot \frac{\pi(r^2 - R_1^2)}{\pi(R_2^2 - R_1^2)} = 0,65I$

Áp dụng định lý Ampère: $B.2\pi r = \mu_0 I' \Rightarrow B = \frac{0,65\mu_0 I}{3\pi R_1}$

Câu 16. Chu trình Carnot lý tưởng hoạt động giữa nguồn nóng có nhiệt độ T_2 và nguồn lạnh có nhiệt độ T_1 hoặc nguồn nóng có nhiệt độ T_3 và nguồn lạnh có nhiệt độ T_2 thì hiệu suất đều bằng H . Nếu chu trình hoạt động giữa nguồn nóng T_3 và nguồn lạnh T_1 thì hiệu suất là

- A. H^2 B. $2H + H^2$ C. $2H - H^2$ D. $\sqrt{H}$

Đáp án: C

Lời giải: Ta có $H = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{T_2}{T_3}$

$$H' = 1 - \frac{T_1}{T_3} = 1 - \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^2 = 1 - (1 - H)^2 = 2H - H^2$$

Câu 17

1. Một chất điểm chuyển động trong mặt phẳng Oxy qua điểm (0,1). Biết rằng tại điểm có tọa độ (x,y) trên quỹ đạo vận tốc của hạt là $\vec{v} = y\vec{i} - x\vec{j}$ với $\vec{i}$ và $\vec{j}$ lần lượt là các véc-tơ đơn vị hướng dọc theo chiều dương của trục tọa độ Ox, Oy. Quỹ đạo của chất điểm là:

- A. thẳng B. tròn C. hypebol D. parabol

Đáp án: B tròn

$$v_x = \frac{dx}{dt} = y; \quad v_y = \frac{dy}{dt} = -x \Rightarrow \frac{dy}{dx} = -\frac{x}{y} \Rightarrow d(x^2 + y^2) = 0 \\ \Rightarrow x^2 + y^2 = \text{const}$$

const=1 vì quỹ đạo qua điểm (0,1) vậy quỹ đạo chất điểm là đường tròn bán kính là 1 và có tâm ở gốc tọa độ.

Câu 18. Khí Oxy ở nhiệt độ phòng (27°C) và áp suất khí quyển (10^5Pa) có quãng đường tự do trung bình vào khoảng $0,11\mu\text{m}$. Đường kính hiệu dụng d của phân tử khí Oxy là

- A. $2,9\text{\AA}$ B. $29\text{\AA}$ C. $6,5\text{\AA}$ D. $85\text{\AA}$

Đáp án: A

Lời giải: Quãng đường tự do trung bình $\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n} \Rightarrow d = \frac{1}{\sqrt{\sqrt{2}\pi\lambda n}}$ (1)

Vì thể tích 1 mol khí là $V = \frac{RT}{p}$, nên mật độ phân tử khí bằng $n = \frac{N_A}{V} = \frac{N_A p}{RT}$ thay vào (1)

ta có: $d = \sqrt{\frac{RT}{\sqrt{2}\pi N_A p}}$

Thay số tìm được $d = \sqrt{\frac{8,313 \cdot 10^2}{1,41 \cdot \pi \cdot 0,11 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^{23} \cdot 10^5}} = 2,92 \cdot 10^{-10}\text{m}; d = 2,9\text{\AA}$

Câu 19. Một positron (hay antielectron) có động năng 750 keV bay tới và chạm với một electron đứng yên. Do sự hủy cặp, 2 photon có cùng năng lượng được sinh ra. Cho khối lượng nghỉ của electron $m_0 = 9,1.10^{-31} \text{ kg}$; $c = 3.10^8 \text{ m/s}$. Góc tạo bởi 2 photon này là

- A. 30° B. 60° C. 120° D. 99°

Đáp án: D

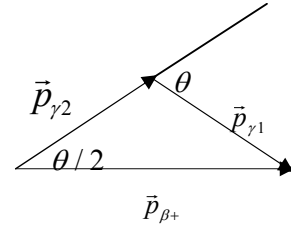
Lời giải: Theo ĐLBT năng lượng: $2m_0c^2 + K = 2hf$

Theo ĐLBT động lượng $\cos \frac{\theta}{2} = \frac{\frac{1}{2} p_{\beta+}}{p_\gamma}$

$$\text{Mà } p_{\beta+} = \frac{\sqrt{E^2 - E_0^2}}{c} = \frac{\sqrt{(E_0 + K)^2 - E_0^2}}{c} = \frac{\sqrt{2KE_0 + K^2}}{c}; \quad p_\gamma = \frac{hf}{c} = \frac{2m_0c^2 + K}{2c}$$

$$\text{nên } \cos \frac{\theta}{2} = \frac{\sqrt{2KE_0 + K^2}}{2E_0 + K} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2m_0c^2}{K}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2.9,1.10^{-31}.9.10^{16}}{1,2.10^{-13}}}} = 0.65. \text{ Thay số ta được}$$

đáp án D.



Câu 20. Mạch điện gồm nguồn điện có suất điện động E và điện trở trong r; điện trở R; cuộn thuần cảm L và khóa K mắc nối tiếp. Chọn gốc thời gian tại thời điểm đóng khóa K. Dòng điện trong mạch có dạng:

- A. $i = \frac{E}{R+r} \left(1 - e^{-\frac{R+r}{L}t} \right)$ B. $i = \frac{E}{R+r} \left(1 - e^{-\frac{L}{R+r}t} \right)$
- C. $i = \frac{E}{R+r} e^{\frac{R+r}{L}t}$ D. $i = \frac{E}{R+r} \left(1 - e^{\frac{R+r}{L}t} \right)$

Đáp án: A

Lời giải: ĐL Ohm cho toàn mạch:

$$-E + i(R+r) + L \frac{di}{dt} = 0 \Rightarrow \int_0^i \frac{di}{\frac{E}{R+r} - i} = \int_0^t \frac{R+r}{L} dt \Rightarrow \ln \left(\frac{\frac{E}{R+r} - i}{\frac{E}{R+r}} \right) = -\frac{R+r}{L} t$$

$$\Rightarrow i = \frac{E}{R+r} \left(1 - e^{-\frac{R+r}{L}t} \right)$$

PHẦN GIẢI BÀI TẬP

CÂU 1

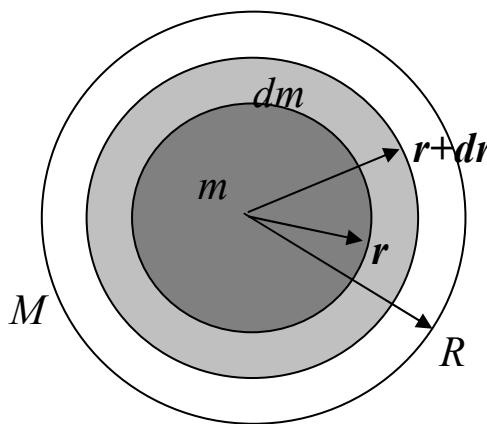
Một lý thuyết cũ về bức xạ của Mặt trời cho rằng năng lượng bức xạ của Mặt trời có nguồn gốc là năng lượng hấp dẫn của nó và tính lượng nhiệt tỏa ra khi Mặt trời thu nhỏ lại với bán kính giảm từ R_1 đến $R_2=0,9 R_1$. Giả thiết rằng Mặt trời là một quả cầu đồng nhất có khối lượng riêng không phụ thuộc vào khoảng cách tới tâm Mặt trời. Hỏi lượng nhiệt đó đủ cho Mặt trời bức xạ trong bao nhiêu năm nếu cường độ của bức xạ Mặt trời là hằng số trong suốt thời gian Mặt trời thu nhỏ lại. Nhiệt độ của Mặt trời tăng thêm bao nhiêu nếu sự co lại đó diễn ra tức thời. Giả thiết rằng nhiệt dung riêng của vật chất tạo nên Mặt trời là $4,18 \text{ kJ/kg.độ}$.

Cho biết Mặt trời có: khối lượng là $M=2.10^{30} \text{ kg}$; bán kính trung bình $R_1=6,95.10^8 \text{ m}$; hằng số hấp dẫn $G=6,67.10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg.s}^2$; khoảng cách trung bình từ Mặt trời đến Quả đất là $D=1,5.10^{11} \text{ m}$; hằng số Mặt trời A là năng lượng bức xạ của Mặt trời trong một đơn vị thời gian đi đến một đơn vị diện tích trên mặt phẳng đặt vuông góc với tia bức xạ và nằm ở khoảng cách xa Mặt trời bằng một đơn vị thiên văn (gần bằng khoảng cách trung bình giữa Mặt trời và Trái đất), $A=1,39 \text{ kW/m}^2$.

Bài giải

Ta tính năng lượng hấp dẫn của Mặt trời được coi như một quả cầu đồng nhất bán kính R , khối lượng riêng ρ . Thế năng hấp dẫn của lớp cầu khối lượng dm nằm giữa hai mặt cầu bán kính r và $r+dr$ có thể tích $4\pi r^2 dr$ nằm trong trường hấp dẫn của phần khối lượng m hình cầu thể tích $\frac{4\pi}{3} r^3$

(xem hình 1) là



Hình 1

$$dU = -G \frac{m dm}{r} = -\frac{(4\pi)^2}{3} G \rho^2 r^4 dr \quad .$$

Như vậy, năng lượng hấp dẫn (bằng thế năng hấp dẫn) của Mặt trời là

$$\begin{aligned} U &= -G \frac{(4\pi)^2}{3} \rho^2 \int_0^R r^4 dr = -G \frac{(4\pi)^2}{3.5} \rho^2 R^5 \\ &= -\frac{3}{5} G \frac{M^2}{R} \quad . \end{aligned} \quad (1)$$

Ở đây, ta đã chọn thế năng hấp dẫn tại ∞ là bằng 0. Khi Mặt trời thu nhỏ lại, bán kính giảm từ R_1 đến R_2 , nhiệt lượng tỏa ra bằng độ giảm của thế năng hấp dẫn $Q = \Delta U$

$$Q = \frac{3}{5} GM^2 \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) \quad . \quad (2)$$

Đặt các giá trị số vào (2), ta được $Q = 2,6.10^{40} J$.

Năng lượng Mặt trời bức xạ trong một năm ra không gian vũ trụ là

$$E_0 = 4\pi D^2 A \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365 = 1,2.10^{34} J/\text{năm} \quad .$$

Do đó, nhiệt lượng Q đủ để bức xạ trong thời gian $\frac{Q}{E_0} = 2,17.10^6$ năm .

Nếu sự co xảy ra tức thời thì nhiệt độ Mặt trời tăng thêm

$$\Delta T = \frac{Q}{C_V M} = 3,1.10^6 \text{ } ^\circ C \quad .$$

CÂU 2

Một tên lửa có khối lượng ban đầu M_0 , phụt nhiên liệu ra với vận tốc không đổi $-u$ ($u > 0$) so với tên lửa. Theo Cơ học phi tương đối tính, mối liên hệ giữa khối lượng M của tên lửa và vận tốc v của nó trong hệ quy chiếu quán tính ban đầu khi nó đứng yên (hệ quy chiếu PTN) được cho bởi biểu thức

$$\frac{M}{M_0} = e^{\left(-\frac{v}{u} \right)} \quad .$$

1. Hãy dẫn ra công thức trên.
2. Giả thiết rằng vận tốc phụt ra của nhiên liệu bị giới hạn bởi điều kiện

$$0 \leq u < c \quad ,$$

trong đó c là tốc độ ánh sáng trong chân không. Hãy dẫn ra biểu thức cho M / M_0 trong trường hợp tương đối tính. Trong điều kiện nào kết quả này quy về kết quả của Cơ học phi tương đối tính?

Vì tốc độ của tên lửa nhỏ so với tốc độ ánh sáng c nên có thể áp dụng Cơ học phi tương đối tính đối với chuyển động của tên lửa. Khối lượng của tên lửa được coi là rất lớn so với khối lượng nhiên liệu phụt ra.

Bài giải

1. Trường hợp không tương đối tính

Xét hệ qui chiếu khối tâm K của tên lửa trước khi phụt nhiên liệu tại thời điểm t . Tên lửa có khối lượng M và vận tốc bằng 0. Sau khoảng thời gian rất ngắn dt , ở thời điểm $t' = t + dt$, vận tốc của tên lửa trong hệ qui chiếu K là $d\vec{V}$. Khối lượng của tên lửa M thay đổi một lượng $dM < 0$, còn khối lượng nhiên liệu phụt ra là $|dM|$. Áp dụng định luật bảo toàn động lượng đối với hệ kín gồm tên lửa và khí phụt ra trong hệ qui chiếu K , ta có

$$[M + dM] d\vec{V} + \vec{u} |dM| \approx M d\vec{V} - \vec{u} dM = 0 \quad , \quad (1)$$

hay

$$M dV = -u dM \quad . \quad (2)$$

Ở đây, ta đã bỏ qua số hạng bậc hai của các vi phân.

Chuyển sang hệ quy chiếu PTN. Lúc ban đầu, $t=0$, tên lửa đứng yên trong hệ này. Tại thời điểm t , trước khi phụt khối lượng nhiên liệu $|dM|$, tên lửa chuyển động với vận tốc $\vec{v}$, khối lượng của tên lửa là $M(t)$. Ở thời điểm $t' = t + dt$, sau khi phụt khối lượng nhiên liệu $|dM|$, vận tốc của tên lửa tăng một lượng $d\vec{v}$. Độ tăng vận tốc tên lửa trong hệ qui chiếu khối tâm và trong hệ qui chiếu PTN bằng nhau, $d\vec{v} = d\vec{V}$ (điều này không đúng trong cơ học tương đối tính). Do đó, phương trình (2) được viết lại là

$$M dv = -u dM \quad .$$

Chú ý đến điều kiện ban đầu $v(t=0)=0$, phương trình này cho lời giải

$$\frac{M}{M_0} = e^{\left(-\frac{v}{u}\right)} . \quad (3)$$

2. Trường hợp tương đối tính

Trong hệ qui chiếu khối tâm K , sau khoảng thời gian dt , khối lượng nhiên liệu phụt ra là dm , vận tốc của tên lửa là $d\vec{V}$ và khối lượng của nó là $M+dM$, $dM<0$. Định luật bảo toàn động lượng và bảo toàn năng lượng cho ta các phương trình

$$(M + dM)d\vec{V} + \frac{dm}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \vec{u} = 0 , \quad (4)$$

$$Mc^2 = \frac{dm}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} c^2 + (M + dM)c^2 . \quad (5)$$

Để nhận được các phương trình (4) và (5), ta đã lấy gần đúng

$$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{dV^2}{c^2}}} \approx 1 .$$

Bỏ qua số hạng bậc hai của các vi phân, phương trình (4) quy về phương trình

$$-Md\vec{V} = \frac{dm}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \vec{u} , \quad (6)$$

còn phương trình (5) cho

$$-dM = \frac{dm}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} . \quad (7)$$

Kết hợp (6) và (7) ta nhận được phương trình tương tự trong trường hợp không tương đối tính (2)

$$Md\vec{V} = dM\vec{u} \quad \text{hay} \quad MdV = -u dM \quad (8)$$

Trong hệ qui chiếu PTN, vận tốc của tên lửa trước khi phụt nhiên liệu là $\vec{v}$, sau khi phụt là $\vec{v} + d\vec{v}$. Công thức chuyển vận tốc từ hệ qui chiếu K sang hệ qui chiếu PTN trong trường hợp tương đối tính cho ta

$$v + dv = \frac{dV + v}{1 + \frac{v}{c^2} dV} \quad (9)$$

Bỏ qua số hạng bé bậc hai của các vi phân, ta có

$$dV = \frac{dv}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (10)$$

Đặt (10) vào (8) ta có

$$\frac{dM}{M} = -\frac{dv}{u \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} \quad (11)$$

hay

$$\frac{dM}{M} = -\frac{dv}{u \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} = -\frac{1}{2u} \left[\frac{dv}{1 - \frac{v}{c}} + \frac{dv}{1 + \frac{v}{c}} \right] \quad (12)$$

Tích phân (12) với điều kiện ban đầu $M = M_0$, $v = 0$ tại $t=0$ cho ta

$$\frac{M}{M_0} = \left(\frac{1 - \beta}{1 + \beta} \right)^{\frac{c}{2u}} \quad (13)$$

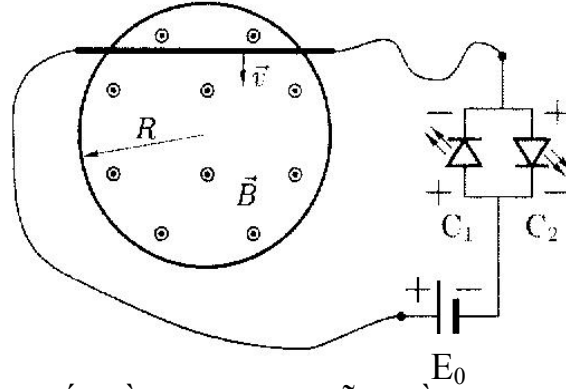
với $\beta = \frac{v}{c}$. Nếu $\beta \ll 1$, sử dụng gần đúng $e^{\pm x} \approx 1 \pm x$ khi $x \ll 1$, thì (13)

trở về trường hợp không tương đối tính (3)

$$\frac{M}{M_0} = e^{\left(-\frac{v}{u}\right)} \quad .$$

CÂU 3

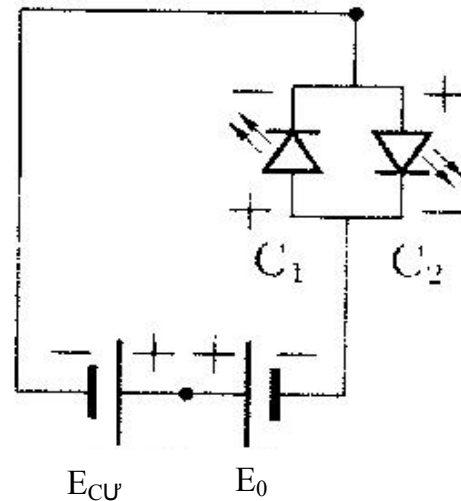
Trong khe hở ở giữa hai cực tròn (bán kính $R = 5\text{cm}$) của một nam châm điện có một từ trường đều với cảm ứng từ $B = 1\text{T}$. Một thanh kim loại chuyển động trong khe trên với vận tốc không đổi $v = 10\text{m/s}$ (xem hình vẽ). Biết rằng



thanh dài $2R$ và hai đầu của nó được nối bằng các dây dẫn mềm với một mạch gồm một nguồn điện có s.đ. đ. $E_0 = 0,5\text{V}$, và hai điốt C_1 và C_2 sẽ phát quang khi hiệu điện thế $|U| \geq 0,25\text{V}$ và có cực tính xác định như chỉ ra trên hình vẽ. Coi rằng ban đầu thanh tiếp xúc với vòng tròn (tức là bắt đầu chuyển động cắt ngang các đường sức từ). Hãy xác định điện áp $U(t)$ trên các quang điốt và tìm các thời điểm mà tại đó các điốt này sáng và tắt trong suốt khoảng thời gian thanh chuyển động trong từ trường ($0 \leq t \leq 2R/v$). Dựng phác đồ thị của hàm $U(t)$ và chỉ ra trên đó khoảng thời gian tắt của các điốt C_1 và C_2 .

Bài giải

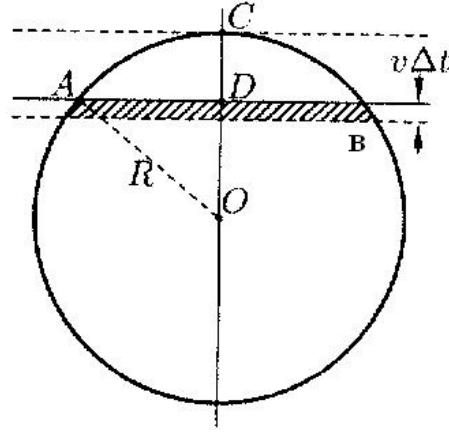
Khi thanh chuyển động trong từ trường, trong thanh xuất hiện s.đ.đ. cảm ứng $|E_{\text{cur}}| = \left| \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \right|$. Độ lớn của s.đ.đ. này phụ thuộc thời gian. Dấu của E_{cur} có thể được xác định dựa vào biểu thức của lực Lorentz hoặc từ định luật cảm ứng điện từ của Faraday. Tóm lại, ta thu được sơ đồ mạch điện kín tương đương như trong hình 2. Lưu ý rằng E_{cur} và E_0 mắc xung đối nhau. Bây giờ ta tìm sự phụ thuộc của E_{cur} vào thời gian.



Hình 2

Theo điều kiện ban đầu, thanh tiếp xúc với biên của vùng có từ trường. Tới thời điểm t , nó di chuyển được khoảng cách $CD = vt$ (xem hình 3). Dùng hình học dễ dàng tính được dây cung AB :

$$AB = 2AD = 2\sqrt{R^2 - (R - vt)^2} = 2\sqrt{vt(2R - vt)} \quad . \quad (1)$$



Hình 3

Độ biến thiên từ thông trong thời gian Δt bằng $\Delta\phi = B \cdot AB \cdot v\Delta t$. Từ đây ta tìm được

$$|E_{\text{cur}}| = 2Bv\sqrt{vt(2R - vt)} \quad . \quad (2)$$

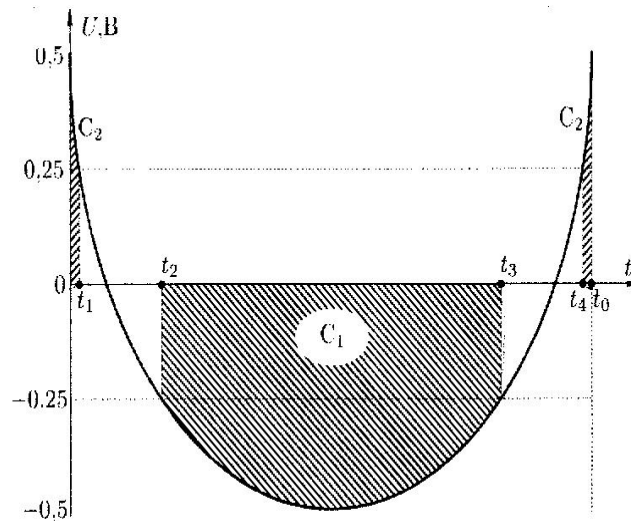
Dễ dàng thấy rằng s.đ.đ cảm ứng đạt cực đại khi $t = R/v$, và

$$|E_{\text{cur}}|_{\text{max}} = 2BvR = 1V \quad .$$

Từ đó

$$U(t) = E_0 - 2Bv\sqrt{vt(2R - vt)} \quad .$$

Đồ thị $U = U(t)$ có thể vẽ phác như ở hình 4.



Hình 4

Từ đồ thị ta thấy quang điốt C_2 sẽ phát sáng khi $U \geq 0,25V$ (theo đề bài), tức là trong 2 khoảng thời gian $[0, t_1]$ và $[t_4, t_0]$ trong đó $t_0 = 2R/v$. Còn quang điốt C_1 sẽ phát sáng khi $U \leq -0,25V$, tức là trong khoảng thời gian $[t_2, t_3]$.

Bây giờ chúng ta sẽ tìm các thời điểm t_1 và t_2 . Các thời điểm t_3 và t_4 cũng sẽ tìm được từ tính đối xứng của đồ thị: $t_3 = t_0 - t_2$, $t_4 = t_0 - t_1$. Từ đồ thị ta thấy t_1 và t_4 là nghiệm của phương trình sau:

$$E_0 - 2Bv\sqrt{vt_{1,4}(2R - vt_{1,4})} = 0,25 = \frac{1}{4} \quad ,$$

$$\left[\frac{E_0 - \frac{1}{4}}{2Bv} \right]^2 = 2Rvt_{1,4} - v^2 t_{1,4}^2 \quad \text{hay} \quad t_{1,4}^2 - \frac{2R}{v} t_{1,4} + \frac{1}{v^2} \left(\frac{E_0 - \frac{1}{4}}{2Bv} \right)^2 = 1 \quad .$$

Lưu ý rằng $|E_{\text{cu}}|_{\text{max}} = 2BvR = 1V$, còn $E_0 = 0,5V$. Thay vào phương trình trên và sau một số phép biến đổi đơn giản, ta được

$$t_{1,4}^2 - \frac{2R}{v} t_{1,4} + \frac{1}{16} \frac{R^2}{v^2} = 0 \quad .$$

Giải ra ta được

$$t_{1,4} = \frac{R}{v} \left(1 \pm \sqrt{\frac{15}{16}} \right) = 5.10^{-3} (1 \pm 0,97) s \quad .$$

Cụ thể là $t_1 = 150\mu s$ và $t_4 = 9,85ms$. Tương tự đối với t_2 và t_3 , ta có

$$t_{2,3}^2 + \frac{2R}{v} t_{2,3} + \frac{1}{16} \frac{R^2}{v^2} = 0 \quad .$$

Giải ra ta được

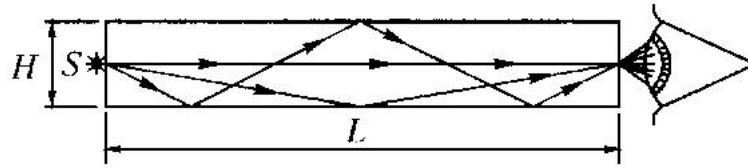
$$t_{2,3} = \frac{R}{v} \left(1 \pm \sqrt{\frac{7}{16}} \right) = 5.10^{-3} (1 \pm 0,66) s \quad .$$

Cụ thể là $t_2 = 1,8ms$ và $t_3 = 8,35ms$.

CÂU 4

Gần sát đầu trái của một tấm trong suốt được đánh bóng tốt, có chiết suất n , có đặt một nguồn sáng S (xem hình vẽ). Cho bề dày của tấm $H = 1\text{cm}$ và chiều dài của tấm $L = 100\text{cm}$. Ánh sáng từ nguồn tới đầu trái của tấm dưới mọi góc từ $0 - 90^\circ$. Tới mắt người quan sát (ở đầu phải) có cả các tia sáng đi thẳng cũng như các tia sáng bị phản xạ toàn phần nhiều lần ở các mặt bên của tấm.

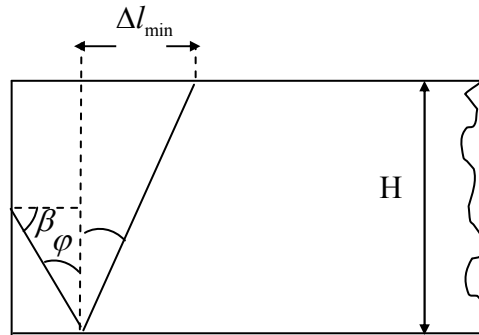
1. Hỏi tia phát ra từ nguồn và đi ra ở đầu phải của tấm có thể bị phản xạ toàn phần tối đa bao nhiêu lần? Giải bài toán trong hai trường hợp: a) $n = n_1 = 1,73$ và b) $n = n_1 = 1,3$.
2. Hãy cho biết trường hợp nào trong hai trường hợp nói ở trên, một phần ánh sáng đã đi ra mất qua các mặt bên.



Bài giải

Ta khảo sát sự truyền của tia sáng từ nguồn khúc xạ ở đầu trái của tấm (hình 5). Góc khúc xạ cực đại ($\beta_{\max}$) ở mặt phẳng đầu trái ứng với góc tới $\alpha = 90^\circ$. Theo định luật khúc xạ, ta có:

$$1 \cdot \sin 90^\circ = n \sin \beta_{\max} \Rightarrow \sin \beta_{\max} = \frac{1}{n} \quad (1)$$



Hình 5

Do vậy, góc tới cực tiểu ở mặt bên của tấm bằng

$$\varphi_{\min} = 90^\circ - \beta_{\max} \quad (2)$$

Sự truyền của tia sáng trong tấm sẽ phụ thuộc vào tương quan giữa $\varphi_{\min}$ và góc giới hạn phản xạ toàn phần φ_{gh} ($\sin \varphi_{gh} = \frac{1}{n}$).

1/ Trường hợp 1. Các tia sáng chỉ truyền trong tấm, không lọt ra mặt biên của tấm, nghĩa là tất cả các tia sáng đi vào đầu trái của tấm đều bị phản xạ toàn phần ở mặt bên, tức là

$$\varphi_{\min} \geq \varphi_{gh} \quad \text{hay} \quad \sin \varphi_{\min} \geq \sin \varphi_{gh} = \frac{1}{n} . \quad (3)$$

Mặt khác, theo (1) và (2), ta có

$$\sin \varphi_{\min} = \cos \beta_{\max} = \sqrt{1 - \frac{1}{n^2}} = \frac{\sqrt{n^2 - 1}}{n} .$$

Thay vào bất (3), ta được

$$\frac{\sqrt{n^2 - 1}}{n} \geq \frac{1}{n} \Rightarrow \sqrt{n^2 - 1} \geq 1 \Rightarrow n \geq 2 .$$

Rõ ràng điều kiện này được thỏa mãn chỉ với $n = n_1 = 1,73$. Từ đây ta dễ dàng tính được khoảng cách cực tiểu giữa hai điểm phản xạ trên hai biên:

$$(\Delta l)_{\min} = H \tan \varphi_{\min} = H \frac{\sin \varphi_{\min}}{\cos \varphi_{\min}} = H \frac{\frac{1}{n_1} \sqrt{n_1^2 - 1}}{\frac{1}{n_1}} = H \sqrt{n_1^2 - 1} .$$

Vậy số lần phản xạ cực đại trên biên của tấm là

$$N_1 = \left[\frac{L}{(\Delta l)_{\min}} + \frac{1}{2} \right] = \left[\frac{L}{H \sqrt{n_1^2 - 1}} + \frac{1}{2} \right] .$$

Ở đây ký hiệu [] chỉ phần nguyên của một số. Thay số vào ta được

$$N_1 = \left[\frac{100}{1 \cdot \sqrt{1,73^2 - 1}} + \frac{1}{2} \right] = 71 .$$

2/ Trường hợp 2:

$$\varphi_{\min} \leq \varphi_{gh} \quad \text{hay} \quad \sin \varphi_{\min} \leq \sin \varphi_{gh} = \frac{1}{n} .$$

Khi đó các tia sáng tới mặt bên của tấm với góc tới nằm trong khoảng giữa $\varphi_{\min}$ và φ_{gh} sẽ chỉ phản xạ một phần, phần còn lại truyền ra ngoài và không đi đến được đầu bên phải của tấm.

Làm tương tự như trên ta tìm được

$$\frac{\sqrt{n^2-1}}{n} \leq \frac{1}{n} \Rightarrow \sqrt{n^2-1} \leq 1 \Rightarrow n \leq \sqrt{2} .$$

Rõ ràng trường hợp này ứng với $n = n_2 = 1,3 < \sqrt{2}$. Khi đó

$$(\Delta l)_{\min} = H \tan \varphi_{gh} = H \frac{\sin \varphi_{gh}}{\cos \varphi_{gh}} = H \frac{\frac{1}{n_1}}{\frac{1}{n_1} \sqrt{n_1^2-1}} = \frac{H}{\sqrt{n_1^2-1}} .$$

Vậy số lần phản xạ cực đại trên mặt bên của tấm là

$$N_2 = \left[\frac{L}{(\Delta l)_{\min}} + \frac{1}{2} \right] = \left[\frac{L \sqrt{n_1^2-1}}{H} + \frac{1}{2} \right] .$$

Thay số vào, ta được

$$N_2 = \left[\frac{L \sqrt{n_1^2-1}}{H} + \frac{1}{2} \right] = \left[\frac{100 \sqrt{1,3^2-1}}{1} + 0,5 \right] = 83 .$$

HẾT

BỘ GIÁO DỤC ĐÀO TẠO

HỘI VẬT LÝ VIỆT NAM

Olympic Vật lý sinh viên Toàn quốc lần thứ XVI

Đề thi THỰC NGHIỆM

(Thời gian làm bài 180 phút)

**XÁC ĐỊNH GIA TỐC TRỌNG TRƯỜNG BẰNG CON LẮC ĐƠN
VÀ CON LẮC VẬT LÝ**

I. Cơ sở lý thuyết

1. Con lắc đơn

Con lắc đơn gồm một vật nặng có kích thước nhỏ, khối lượng m , được treo ở đầu một sợi dây mềm không dẫn có độ dài ℓ và có khối lượng không đáng kể.

Với các dao động nhỏ thì con lắc đơn dao động với chu kỳ $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$.

2. Con lắc vật lý

Con lắc vật lý được định nghĩa là một vật rắn bất kì chịu tác dụng của trọng lực và thực hiện các dao động nhỏ quanh một trục nằm ngang không đi qua khối tâm.

Chu kỳ T của con lắc vật lý được cho bởi $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{Mgd}}$.

Trong đó: M là khối lượng vật rắn; d là khoảng cách từ trục nằm ngang tới khối tâm và I là momen quán tính của vật rắn đối với trục đang xét.

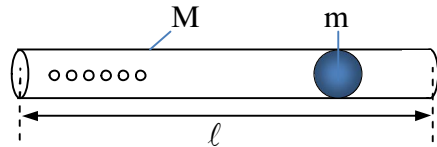
II. Dụng cụ thí nghiệm

1. Đế ba chân bằng sắt.
 2. Hai thanh inox cứng, một thanh dài và một thanh ngắn. Thanh ngắn có gắn trục nhỏ ở một đầu.
 3. Giá đỡ kẹp các trục bằng thép.
 4. Thước đo.
 5. Dây làm bằng sợi tổng hợp, mảnh, không dẫn một đầu buộc viên bi thép.
 6. Công quang điện hồng ngoại, dây nối và giắc cắm được nối sẵn với đồng hồ đo thời gian hiện số.
 7. Đồng hồ đo thời gian hiện số, có hai thang đo giây (s) và mili giây (ms).
- Đặt chế độ cho mỗi lần đo như sau:

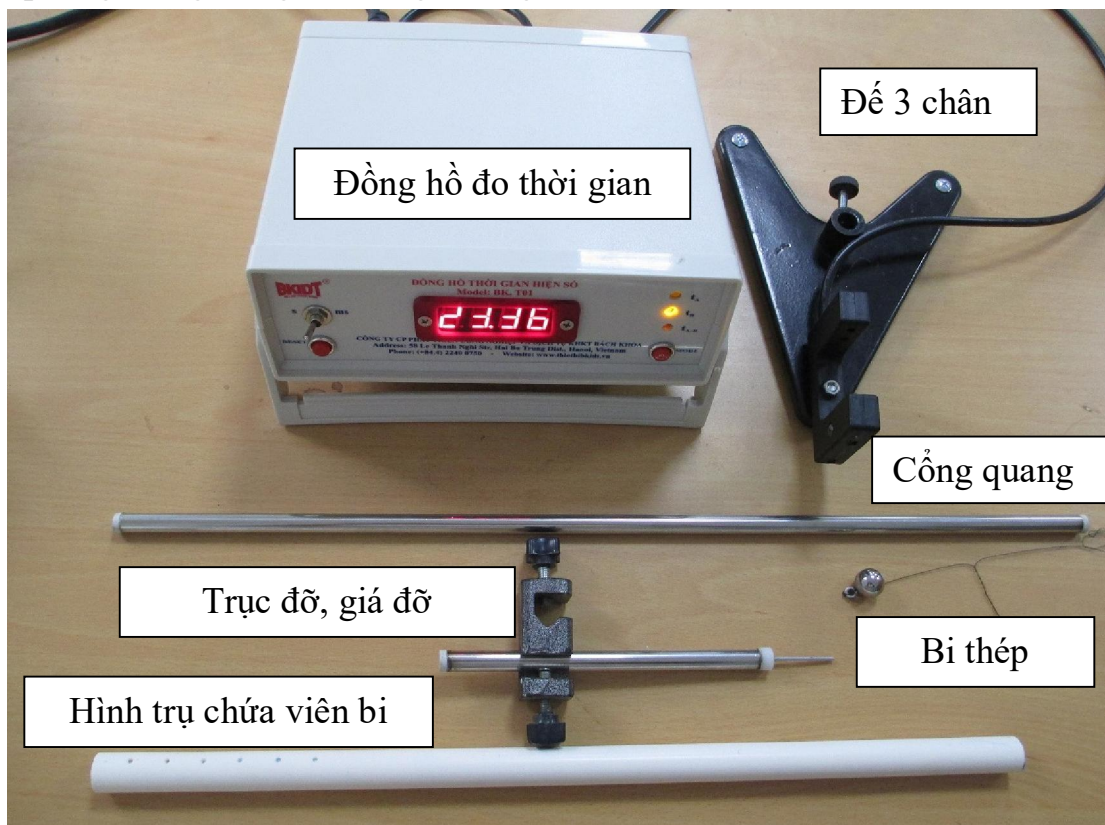
- Để thang đo giây (s).
- Ấn nút reset, đợi một chút cho chu kỳ dao động ổn định.
- Chọn mode đo (1 chu kỳ; 10 chu kỳ; 20 chu kỳ).

Sau khi chọn mode, máy sẽ tự đếm số chu kỳ và thời gian cho tổng số các chu kỳ đó. Kết thúc hiển thị tổng thời gian.

8. Một hình trụ rỗng đồng nhất (khối lượng M) trong có gắn viên bi kim loại (khối lượng m). Hình trụ được khoan các lỗ nhỏ để có thể cắm một trục vuông góc và đi qua trục



của hình trụ, sao cho hình trụ được treo trên trục này có thể dao động được trong mặt phẳng thẳng đứng. Khoảng cách giữa các lỗ là 1,5 cm.



III. Yêu cầu thí nghiệm

1. Khảo sát dao động nhỏ của con lắc đơn (10 điểm)

1. Khảo sát ảnh hưởng của độ dài lên chu kỳ dao động của con lắc đơn.

Điều chỉnh dây treo để con lắc dao động với các độ dài dây ℓ khác nhau, xác định thời gian n dao động toàn phần để xác định chu kỳ T .

- Bố trí thí nghiệm và tiến hành đo đạc thu thập số liệu (bảng số liệu);

- Từ bảng số liệu, vẽ đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của T vào chiều dài con lắc. Rút ra nhận xét.

2. Xác định gia tốc trọng trường.

Dựa vào bảng số liệu đo được ở trên, trình bày cách xử lý số liệu để đưa ra giá trị gia tốc trọng trường g tại nơi làm thí nghiệm.

2. Khảo sát dao động nhỏ của con lắc vật lý (20 điểm)

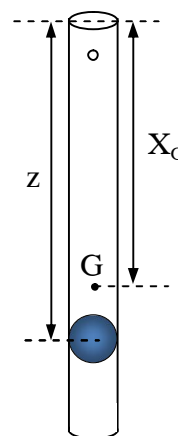
Sử dụng hình trụ rỗng có gắn viên bi để khảo sát như một con lắc vật lý.

1. Trình bày phương pháp xác định vị trí khối tâm của hệ hình trụ có gắn viên bi. Xác định giá trị X_G .

2. Để xác định giá trị gia tốc trọng trường g , ta khảo sát chu kỳ dao động T của con lắc vật lý theo khoảng cách d từ trục dao động đến khối tâm G . Hãy:

- Xây dựng công thức cần thiết và nói cách xác định g ;
- Bố trí thí nghiệm và tiến hành đo đạc thu thập số liệu (bảng số liệu);
- Xử lý số liệu để nhận được giá trị g .

3. Xác định giá trị z (vị trí viên bi so với một đầu hình trụ) và tỉ số khối lượng M/m .



Bỏ qua ảnh hưởng của các lỗ nhỏ đến tính đồng đều của hình trụ rỗng. Cho biết momen quán tính của hình trụ rỗng đồng chất, chiều dài ℓ , khối lượng M đối với trục quay qua khối tâm và vuông góc với trục hình trụ là $I = \frac{M\ell^2}{12}$. Viên bi có thể coi như một chất điểm có khối lượng m .

OLYMPIC VẬT LÝ SINH VIÊN TOÀN QUỐC
ĐẠI HỌC SÀI GÒN – 2014

CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM

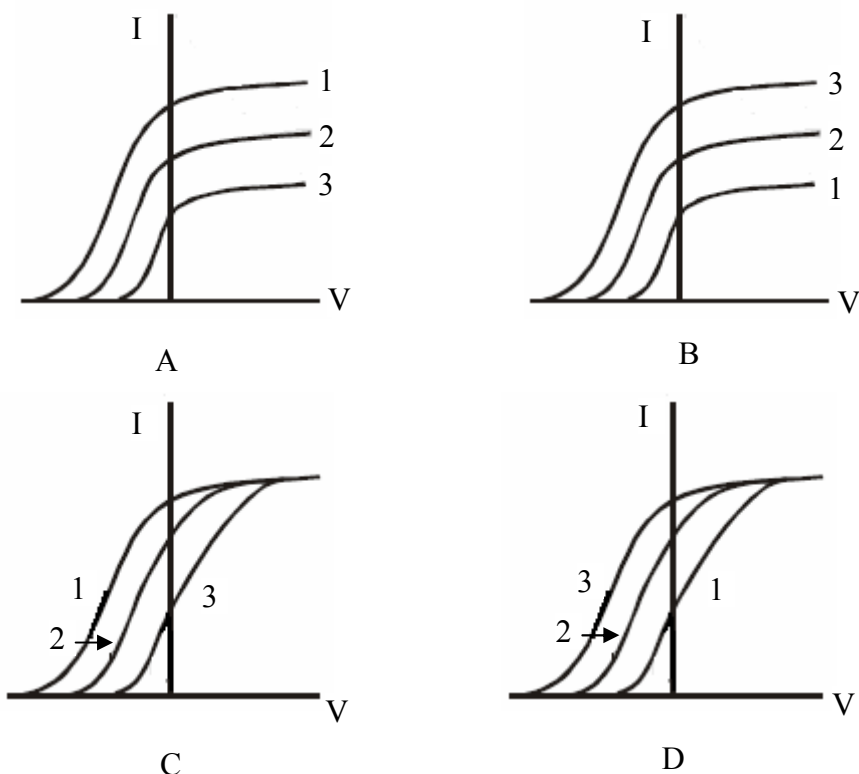
Câu 1. Cho ba quả cầu kim loại giống hệt nhau A, B, C. Hai quả cầu A và B tích điện bằng nhau, đặt cách nhau một khoảng lớn hơn rất nhiều so với kích thước của chúng. Lực tác dụng giữa hai quả cầu này là F . Quả cầu C không tích điện. Người ta cho quả cầu C tiếp xúc với quả cầu A, sau đó cho tiếp xúc với quả cầu B, rồi cuối cùng đưa C ra rất xa A và B. Bây giờ, lực tĩnh điện giữa A và B là

- A. $F/2$
- B. $F/4$
- C. $3F/8$
- D. $F/16$

Đáp án: C

Lúc đầu, điện tích của quả cầu A và B bằng nhau và bằng q . Cho quả cầu C tiếp xúc với quả cầu A, điện tích của A bằng điện tích của C và bằng $q/2$. Cho C tiếp xúc với B, điện tích của B và C bằng nhau và bằng $3q/4$. Do đó, lực tác dụng tương hỗ giữa A và B bây giờ là $3F/8$.

Câu 2. Trong thí nghiệm về hiện tượng quang điện, người ta dùng ba bản kim loại khác nhau (ký hiệu 1, 2, 3) có công thoát lần lượt là $\phi_1 = 2,0 \text{ eV}$, $\phi_2 = 2,5 \text{ eV}$, và $\phi_3 = 3,0 \text{ eV}$. Một chùm ánh sáng không đơn sắc gồm 3 bước sóng 550 nm, 450 nm và 350 nm có cường độ như nhau chiếu vào từng bản kim loại. Đồ thị I-V nào mô tả đúng thí nghiệm?



Đáp án: A

Năng lượng của photon ứng với các bước sóng đã cho là

$$E_{\lambda_1} = hc/\lambda = 2,26 \text{ eV} \quad , \quad E_{\lambda_2} = 2,76 \text{ eV} \quad , \quad E_{\lambda_3} = 3,55 \text{ eV} \quad .$$

Đối với kim loại 1, cả 3 bước sóng đều có thể gây ra hiệu ứng quang điện. Với kim loại 2, chỉ có các bước sóng λ_2 và λ_3 ; còn đối với kim loại 3 thì chỉ có bước sóng λ_3 là có thể sinh ra quang-điện tử. Vì vậy, dòng quang điện lớn nhất đối với kim loại 1 và nhỏ nhất đối với kim loại 3. Đồ thị I-V của đáp án A phù hợp với điều này.

Câu 3. Cây đang sống hấp thụ carbon phóng xạ ^{14}C từ khí quyển trong quá trình quang hợp. Tỷ lệ ^{14}C và ^{12}C là $\alpha = 1,25 \times 10^{-12}$. Khi cây chết, carbon ^{14}C phân rã với chu kỳ bán rã là $T_{1/2} = 5600$ năm. Người ta thấy từ $m = 4,00$ g carbon trong một mảnh gỗ chết có 20 phân rã trong một phút. Tuổi của cây gỗ đó là

- A. $2,12 \times 10^3$ năm
- B. $6,24 \times 10^2$ năm
- C. $8,76 \times 10^3$ năm
- D. $1,52 \times 10^4$ năm

Biết rằng 1 đơn vị khối lượng nguyên tử $u = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

Đáp án: C

Lấy gốc tính thời gian $t=0$ là thời điểm cây chết. Ký hiệu $N_{14}(t)$ và $N_{12}(t)$ lần lượt là số hạt nhân ^{14}C và ^{12}C , $k = 20/\text{phút}$ là tốc độ phân rã ở thời điểm t . N_{12} không thay đổi theo thời gian. Từ biểu thức

$$N_{14}(t) = N_{14}(0)e^{-t/\tau}$$

ta có $k = -\frac{dN_{14}(t)}{dt} = \frac{N_{14}(0)}{\tau}e^{-t/\tau}$ với τ là thời gian sống, $\tau = T_{1/2}/(\ln 2) = 8081$ năm. Ta cũng có các phương trình

$$\{14 N_{14}(t) + 12 N_{12}\} u = m \quad , \quad \frac{N_{14}(0)}{N_{12}} = \alpha \quad .$$

Giải các phương trình trên, cuối cùng, ta nhận được

$$t = \tau \ln \frac{N_{14}(0)}{k\tau} \approx \tau \ln \frac{m\alpha}{12uk\tau} = 8,76 \times 10^3 \text{ năm}.$$

Câu 4. Cho hỗn hợp khí gồm 2 mol khí ôxy và 4 mol khí argon (Ar) ở nhiệt độ T. Bỏ qua tất cả các mode dao động, nội năng toàn phần của hỗn hợp khí là

- A. 15 RT
- B. 11 RT
- C. 9 RT
- D. 7 RT

Đáp án: B

Ôxy là khí lưỡng nguyên tử, do đó, nội năng của 2 mol khí ôxy là

$$U_1 = 2 \frac{5}{2} RT = 5 RT \quad .$$

Argon là khí đơn nguyên tử, nội năng của 4 mol argon là

$$U_2 = 4 \frac{3}{2} RT = 6 RT \quad .$$

Nội năng toàn phần của hỗn hợp khí là

$$U = U_1 + U_2 = 11 RT \quad .$$

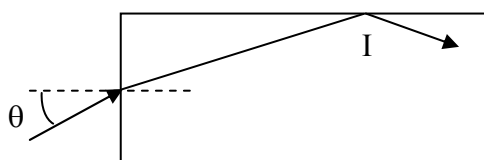
Câu 5. Máy hơi nước do J. Watt sáng chế được coi là thành tựu lớn trong cuộc cách mạng khoa học công nghệ lần thứ nhất của nhân loại. Máy này được ông hoàn thiện vào năm

- A. 1776 B. 1779 C. 1781 D. 1784

Đáp án: D

Câu 6. Ánh sáng đi vào một đầu của cáp quang như trên hình vẽ. Cáp quang hình trụ chế tạo từ vật liệu đồng nhất có chiết suất $n = 1,4$. Hỏi góc θ lớn nhất là bao nhiêu để ánh sáng có thể truyền trong cáp quang mà không thoát ra ngoài. Chiết suất của không khí được xem bằng 1. Lấy kết quả có hai chữ số có nghĩa.

- A. 78°
B. 46°
C. 44°
D. 12°



Đáp án: A

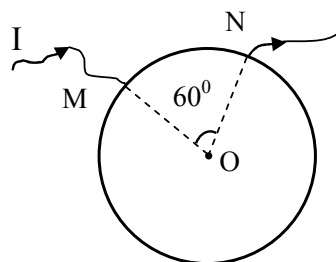
Để không thoát ra ngoài cáp quang, ánh sáng phải phản xạ toàn phần tại điểm I. Điều kiện phải thỏa mãn là

$$\theta < \theta_{\max} \quad \text{với} \quad \sin \theta_{\max} = \sqrt{n^2 - 1} = 0,9798 \quad .$$

$$\text{Vậy } \theta_{\max} = 78^\circ \quad .$$

Câu 7. Cho một vòng dây dẫn tròn đồng chất, tiết diện đều, tâm O bán kính R. Dòng điện cường độ I đi vào vòng dây tại điểm M và ra tại điểm N. Góc $\text{MON} = 60^\circ$. Cảm ứng từ tại tâm vòng dây có độ lớn

- A. $B = 0$.
B. $B = 5 \frac{\mu_0 I}{4\pi R}$.
C. $B = 5 \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$.
D. $B = \frac{5 \mu_0 I}{6 2\pi R}$.

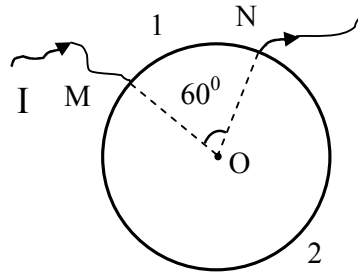


Đáp án: A

Theo định luật Biot-Savart, cảm ứng từ B_i tại tâm vòng dây gây bởi dòng điện trong cung tròn i có độ lớn tỷ lệ với cường độ dòng điện I_i và chiều dài L_i của cung

$$B_i \sim I_i L_i \quad .$$

Mặt khác, cường độ dòng điện I_i tỷ lệ nghịch với điện trở của cung dây, tức là tỷ lệ nghịch với chiều dài cung. Như vậy, cảm ứng từ gây bởi dòng điện trong hai cung MIN và M2N không phụ thuộc vào độ dài của cung, do đó có độ lớn như nhau, nhưng có chiều ngược nhau. Vậy cảm ứng từ tổng cộng tại tâm vòng dây bằng 0.



Câu 8. Hạt pion trung hòa π^0 có thời gian sống trung bình $\tau = 8,4 \times 10^{-17}$ s. Hạt đó chuyển động với vận tốc $\frac{\sqrt{3}}{2}c$ đối với hệ tọa độ phòng thí nghiệm (c là vận tốc ánh sáng trong chân không). Khoảng cách trung bình mà hạt chuyển động được trong phòng thí nghiệm trước khi phân rã là

- A. 6,2 nm B. 4,4 nm C. 1,5 nm D. 3,3 nm

Đáp án: B

Xét trong hệ tọa độ phòng thí nghiệm, ký hiệu v là tốc độ, Δt là thời gian sống của hạt, s là quãng đường hạt đi được trước khi phân rã. Ta có

$$s = v\Delta t = v \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \tau = \frac{\sqrt{3}}{2} c 2 \tau = \sqrt{3} c \tau = 4,4 \text{ nm} .$$

Câu 9. Năng lượng cần thiết để bứt cả hai electron ra khỏi nguyên tử heli ở trạng thái cơ bản là 79,0 eV. Hỏi cần bao nhiêu năng lượng để ion hóa nguyên tử heli, tức là bứt một electron ra khỏi nguyên tử heli, ion heli được tạo thành ở trạng thái cơ bản ?

- A. 24,6 eV
B. 39,5 eV
C. 51,8 eV
D. 54,4 eV

Đáp án: A

Các mức năng lượng của nguyên tử hydro tỷ lệ với e^4 , e là điện tích nguyên tố. Do đó, các mức năng lượng của hệ gồm một electron và hạt nhân có Z proton tỷ lệ với Z^2 . Vậy năng lượng trạng thái cơ bản của ion heli là

$$E(\text{He}^+) = 4 E(\text{H}) = 4(-13,6 \text{ eV}) = -54,4 \text{ eV} ,$$

với $E(\text{H})$ là năng lượng trạng thái cơ bản của hydro. Mặt khác, năng lượng trạng thái cơ bản của nguyên tử heli là $E(\text{He}) = -79,0 \text{ eV}$.

Do đó, năng lượng ion hóa của nguyên tử heli là

$$W = E(\text{He}^+) - E(\text{He}) = (-54,4 + 79,0) \text{ eV} = 24,6 \text{ eV} .$$

Câu 10. Từ Trái Đất người ta phóng một vệ tinh với vận tốc 29,7km/s (so với Trái Đất) theo hướng ngược lại so với hướng chuyển động của Trái Đất quanh Mặt Trời. Nếu chỉ xét lực hút của Mặt Trời thì sau bao lâu vệ tinh trên sẽ rơi vào Mặt Trời? Biết khối lượng của Mặt Trời xấp xỉ bằng $1,97 \cdot 10^{30}$ kg, Trái Đất chuyển động quanh Mặt

Trời theo một quỹ đạo tròn có bán kính $R=1,49.10^{11}$ m rất lớn so với bán kính của Mặt Trời và Trái Đất.

- A. 185,2 ngày
- B. 92,4 ngày
- C. 75,8 ngày
- D. 64,5 ngày

Đáp án: D

Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời theo quỹ đạo tròn với tốc độ 29,7km/s và chu kỳ $T_E=365$ ngày. Với cách phóng vệ tinh như đã cho ở đầu bài, vệ tinh đứng yên so với Mặt Trời ngay sau khi phóng. Sau đó, vệ tinh rơi thẳng về Mặt Trời. Sự rơi này có thể được xem như chuyển động theo một nửa quỹ đạo elip có bán trục nhỏ bằng 0, bán trục lớn bằng $R/2$ với chu kỳ T . Từ đó, kết hợp với định luật Kepler 3, thời gian rơi này sẽ bằng

$$\tau = 0,5T = 0,5T_E/2^{3/2} = 64,5 \text{ ngày} .$$

Câu 11. Động năng trung bình của một mol khí lý tưởng là $E = \frac{3}{2}RT$. Khi đó C_p có giá trị là

- A. 0,5R
- B. 1,5R
- C. 2,0R
- D. 2,5R

Đáp án: D

Đối với khí lý tưởng $E = U = \frac{3}{2}RT$. Mặt khác, biết rằng $U = C_V T$ suy ra $C_V = \frac{3}{2}R$.

Do đó $C_p = C_V + R = \frac{3}{2}R + R = 2,5R$.

Câu 12. Một loa truyền thanh gắn trên cột điện phát ra âm thanh có tần số $f_0 = 495$ Hz. Người ngồi trên ô tô chuyển động về phía loa với tốc độ $v = 33$ m/s nghe thấy âm thanh có tần số

- A. $f = 550$ Hz .
- B. $f = 547$ Hz .
- C. $f = 544$ Hz .
- D. $f = 522$ Hz .

Cho biết tốc độ sóng âm trong không khí là $v_0 = 330$ m/s.

Đáp án: C

Nếu nguồn âm chuyển động về phía người nghe đứng yên thì người nghe nhận được âm thanh có tần số

$$f = \frac{f_0}{1 - \frac{v}{v_0}} . \quad (1)$$

Nếu người nghe chuyển động về phía nguồn âm đứng yên thì âm thanh nhận được có tần số

$$f = \left(1 + \frac{v}{v_0}\right) f_0 . \quad (2)$$

Đó là hiệu ứng Doppler. Thay giá trị số vào (2), ta nhận được $f = 544$ Hz .

Câu 13. Hai vật cùng khối lượng m được nối với nhau bởi một lò xo và treo thẳng đứng vào trần nhà bằng một dây không giãn. Hệ đang ở trạng thái cân bằng. Dây treo đột nhiên đứt. Gia tốc của vật phía trên ngay sau thời điểm dây bị đứt bằng

- A. 0 B. $g/2$ C. g D. $2g$

Đáp án: D

Trước và ngay khi dây bị đứt, lò xo bị giãn, sức căng của lò xo là $F = mg$.

Ngay khi dây đứt, vật ở phía trên chịu tác dụng của trọng lực và sức căng của lò xo.

Cả hai lực cùng hướng xuống phía dưới. Vì vậy,

$$ma = mg + F = 2mg,$$

trong đó a là gia tốc của vật phía trên. Suy ra $a = 2g$.

Câu 14. Trong mô hình Bohr của nguyên tử hydro, động lượng của electron chuyển động trên quỹ đạo có bán kính r_n (n là số lượng tử chính) là

- A. $n\hbar$ B. $nr_n\hbar$ C. $n\hbar/r_n$ D. $n\hbar/(r_n)^2$

Đáp án: C

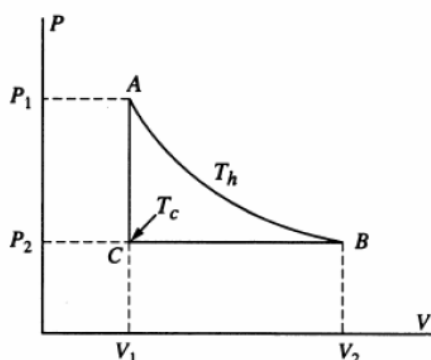
Thứ nguyên của động lượng là $[p] = MLT^{-1}$.

Thứ nguyên của hằng số Planck là $[\hbar] = ML^2T^{-1}$, thứ nguyên của bán kính r là $[r] = L$.

Trong các biểu thức đã cho, chỉ có biểu thức của đáp án C có thứ nguyên của động lượng.

Câu 15. Một mol chất khí lý tưởng thực hiện chu trình thuận nghịch ABCA trên giản đồ P-V như hình vẽ, trong đó quá trình AB là quá trình đẳng nhiệt. C_P và C_V lần lượt là nhiệt dung mol đẳng áp và đẳng tích. Nhiệt lượng khối khí nhận trong chu trình là

- A. $RT_h V_2/V_1$
B. $-C_P(T_h - T_c)$
C. $RT_h \ln(V_2/V_1) - C_P(T_h - T_c)$
D. $RT_h \ln(V_2/V_1) - R(T_h - T_c)$



Đáp án: D

Theo định luật 1 của nhiệt động học, $Q = U + W$.

- Đối với quá trình AB, $U = 0$, do đó $Q_{AB} = W = RT_h \ln(V_2/V_1)$.

- Với quá trình đẳng áp BC, $U = C_V(T_c - T_h)$, $W = P_2(V_1 - V_2) = R(T_c - T_h)$.

Do đó $Q_{BC} = R(T_c - T_h) + C_V(T_c - T_h)$.

- Với quá trình đẳng tích CA, $W = 0$, $U = C_V(T_h - T_c)$, nên $Q_{CA} = U = C_V(T_h - T_c)$.

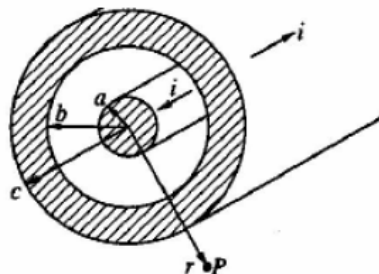
Vậy nhiệt lượng tổng cộng khối khí nhận là

$$Q = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA} = RT_h \ln(V_2/V_1) - R(T_h - T_c).$$

Câu 16.

Một dây cáp đồng trục có các dòng điện cùng cường độ i chạy ngược chiều nhau ở lõi bên trong và vỏ bên ngoài (xem hình vẽ). Độ lớn của cảm ứng từ tại điểm P bên ngoài dây cáp cách trục của dây cáp một khoảng r là

- A. 0
- B. $\frac{\mu_0 i}{2\pi r}$
- C. $\frac{\mu_0 i}{2\pi r} \frac{c^2 - r^2}{c^2 - b^2}$
- D. $\frac{\mu_0 i}{2\pi r} \frac{r^2 - b^2}{c^2 - b^2}$



Đáp án: A

Xét đường tròn bán kính r trong mặt phẳng vuông góc với trục dây cáp và có tâm nằm trên trục của dây. Áp dụng định lý Ampe về dòng toàn phần, do đối xứng của dây, ta có

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \oint_C dl = 2\pi r B = \mu_0 \sum_k I_k = 0,$$

trong đó lấy tổng đại số các dòng điện đi xuyên qua diện tích hình tròn. Vậy $B = 0$.

Câu 17. Một chùm ánh sáng có cường độ không đổi đi qua kính phân cực theo phương vuông góc với kính. Khi kính quay quanh trục của chùm sáng, cường độ ánh sáng truyền qua thay đổi như là hàm $(A+B \cos 2\theta)$ của góc quay θ , trong đó A và B là các hằng số, $A > B > 0$. Có thể kết luận:

- A. Ánh sáng tới không phân cực.
- B. Ánh sáng tới phân cực thẳng.
- C. Ánh sáng tới phân cực tròn.
- D. Ánh sáng tới một phần phân cực thẳng, một phần không phân cực.

Đáp án: D

Nếu ánh sáng không phân cực, cường độ ánh sáng truyền qua không thay đổi khi quay kính phân cực. Ánh sáng phân cực thẳng sau khi đi qua kính phân cực có cường độ $I \sim \cos^2 \varphi$ với φ là góc giữa hướng phân cực của ánh sáng và trục phân cực của kính. Chọn gốc tính góc quay θ thích hợp, ta có $I \sim \cos^2 \theta \sim 1 + \cos 2\theta$. Ánh sáng phân cực tròn có thể được xem như tổ hợp của hai phân cực thẳng vuông góc với nhau và dao động lệch pha $\pi/2$.

Do đó, phương án **D** phù hợp với đề bài.

Câu 18. Một máy nhiệt nhận nhiệt ở nhiệt độ $T_1 = 727^\circ\text{C}$ và tỏa nhiệt ở nhiệt độ $T_2 = 527^\circ\text{C}$. Nếu hoạt động với hiệu suất lớn nhất có thể có thì máy thực hiện một công bằng bao nhiêu khi nhận nhiệt lượng 2000 J?

- A. 400 J
- B. 800 J
- C. 1600 J
- D. 2000 J

Đáp án: A

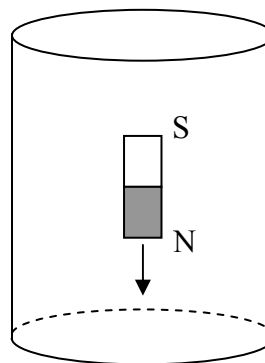
Hiệu suất của máy là $\eta = \frac{W}{Q}$, trong đó W là công thực hiện bởi máy nhiệt, Q là nhiệt lượng máy nhiệt nhận. Hiệu suất của máy nhiệt lớn nhất nếu máy thực hiện chu trình Carnot. Khi đó hiệu suất được cho bởi biểu thức

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 0,2 \quad .$$

Do đó, nếu nhận nhiệt lượng $Q=2000 \text{ J}$ thì máy thực hiện công $W=2000 \times 0,2 = 400 \text{ J}$.

Câu 19. Một thanh nam châm vĩnh cửu được thả rơi trong một ống hình trụ bằng đồng đặt thẳng đứng. Ống đồng có thể xem là dài vô hạn. Sau một thời gian, thanh nam châm

- A. Rơi với gia tốc g
- B. Rơi với vận tốc không đổi
- C. Rơi nhanh dần
- D. Không thể kết luận gì về chuyển động của nam châm



Đáp án: B

Khi thanh nam châm rơi trong lòng ống đồng, trên ống xuất hiện dòng điện cảm ứng gây ra từ trường chống lại sự rơi của nam châm. Khi nam châm rơi chậm, lực từ chống lại chuyển động nhỏ hơn lực trọng trường nên nam châm rơi nhanh dần. Nam châm rơi càng nhanh thì lực từ càng lớn. Đến một lúc nào đó, lực từ cân bằng với trọng lực, nam châm sẽ rơi với vận tốc không đổi.

Câu 20. Một mole khí lý tưởng ban đầu có thể tích V_0 và nhiệt độ T_0 . Khối khí giãn nở đẳng nhiệt đến thể tích V_1 . Ký hiệu R là hằng số khí, $\gamma = C_p/C_v$ là hằng số Poisson. Công khối khí thực hiện trong quá trình này là

- A. 0
- B. $RT_0 \left(\frac{V_1}{V_0} \right)^\gamma$
- C. $RT_0 \left(\frac{V_1}{V_0} - 1 \right)$
- D. $RT_0 \ln \frac{V_1}{V_0}$

Đáp án: D

Công do khối khí thực hiện khi giãn nở đẳng nhiệt là

$$W = \int PdV = \int \frac{RT}{V} dV = RT_0 \ln \frac{V_1}{V_0} \quad .$$

PHẦN GIẢI BÀI TẬP

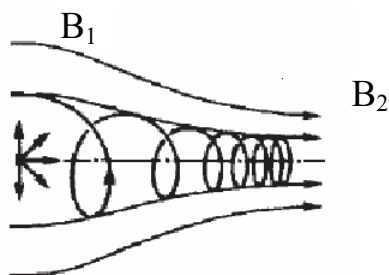
(180 phút không kể thời gian phát đề)

CÂU 1. Gương từ

Dưới tác dụng của lực Lorentz, hạt tích điện có vận tốc thích hợp sẽ chuyển động theo đường xoắn ốc dọc theo đường sức từ. Khi chuyển động đến miền có từ trường lớn hơn (mật độ đường sức lớn hơn), do chuyển động theo quỹ đạo gần tròn kết hợp với thành phần hướng tâm của từ trường mà hạt chịu tác dụng của lực hướng ra phía ngoài miền từ trường mạnh. Chính lực này làm cho hạt bị phản xạ trở lại. Đó là hiệu ứng gương từ.

Một ion chuyển động theo quỹ đạo xoắn ốc xung quanh trục của một ống solenoid. Các vòng dây của ống solenoid được cuốn sao cho ion chuyển động trong miền có từ trường tăng dần từ B_1 đến B_2 . Hãy tìm điều kiện để ion bị phản xạ trở lại khi tới vùng từ trường B_2 .

Giả sử một nguồn phát ion đặt tại điểm có từ trường B_1 trên trục của ống solenoid nói trên phát ra ion cùng loại bay vào bên trong ống. Tất cả ion đều có tốc độ như nhau và phân bố đều theo mọi hướng. Hỏi tỷ lệ ion bị phản xạ trở lại là bao nhiêu?



Giải

Vì từ trường tăng dần dần nên có thể xem quỹ đạo của ion trong mặt phẳng vuông góc với trục là đường tròn. Tốc độ góc của chuyển động tròn là

$$\omega = \frac{qB}{m} . \quad (1)$$

Do có đối xứng trục nên thành phần song song với trục solenoid (trục z) của mô men động lượng bảo toàn. Ta có

$$m r^2 \omega = m r_1^2 \omega_1 \quad (2)$$

với ω_1 và r_1 là tốc độ góc và bán kính quỹ đạo tròn tại vị trí từ trường $B=B_1$. Mặt khác, năng lượng của ion trong từ trường bảo toàn. Do đó

$$\frac{1}{2} m v_l^2 + \frac{1}{2} m r^2 \omega^2 = \frac{1}{2} m v_{l1}^2 + \frac{1}{2} m r_1^2 \omega_1^2 , \quad (3)$$

trong đó chỉ số l đánh dấu thành phần song song với trục solenoid.

Giả sử ion bị phản xạ trở lại tại điểm có từ trường B . Khi đó tốc độ $v_l = 0$. Ta có

$$v_{1l}^2 = r^2 \omega^2 - r_1^2 \omega_1^2 = r_1^2 \omega_1^2 \left(\frac{r^2 \omega^2}{r_1^2 \omega_1^2} - 1 \right) = r_1^2 \omega_1^2 \left(\frac{\omega}{\omega_1} - 1 \right) . \quad (4)$$

Vì $B \leq B_2$ nên điều kiện để ion phản xạ trở lại là

$$v_{1l} \leq v_{1t} \sqrt{\frac{B_2}{B_1} - 1} , \quad (5)$$

trong đó $v_{1t} = r_1 \omega_1$ là thành phần vận tốc trong mặt phẳng vuông góc với trục tại điểm có từ trường B_1 .

Từ bất đẳng thức (5) suy ra ion bị phản xạ nếu góc α giữa hướng bay ban đầu của ion và trục ống thỏa mãn điều kiện

$$\cos \alpha \leq \sqrt{1 - \frac{B_1}{B_2}} \equiv \cos \alpha_0 . \quad (6)$$

Ký hiệu n là số ion bay vào một đơn vị góc khối. Tổng số ion trong chùm là $N=2\pi n$. Số ion bị phản xạ là

$$\begin{aligned} N' &= n \int_{\cos \alpha \leq \cos \alpha_0} d\Omega \\ &= \pi n \int_{|\alpha| \leq \alpha_0} \sin \alpha d\alpha = 2\pi n \sqrt{1 - \frac{B_1}{B_2}} \end{aligned} \quad (7)$$

Vậy tỷ lệ ion bị phản xạ là

$$k \equiv \frac{N'}{N} = \sqrt{1 - \frac{B_1}{B_2}} .$$

CÂU 2.

I. Một thùng đựng nước muối có đáy hình vuông cạnh dài 3m. Thành bên của thùng hấp thụ hoàn toàn ánh sáng, đáy thùng bằng thủy tinh có độ dày không đáng kể có thể bỏ qua. Độ sâu của nước trong thùng là 1m. Thùng được đặt nằm yên trong thời gian dài. Khi đó, nồng độ muối trong thùng không đồng đều, mà tăng theo chiều sâu. Nước muối nặng hơn nước tinh khiết nên chiết suất của nước muối trong thùng cũng tăng theo chiều sâu. Giả thiết rằng chiết suất của nước trong thùng ở bề mặt là $n_0 = 1,3$ và tăng theo chiều sâu với tốc độ tăng $\alpha = 0,05 \text{ m}^{-1}$. Không khí bao quanh thùng có chiết suất $n_a = 1$.

Một nguồn sáng nhỏ đặt ở tâm của đáy thùng, phát ánh sáng ra mọi hướng.

- Để đơn giản, giả thiết rằng nước muối đồng nhất và có chiết suất n_0 . Hãy tính diện tích bề mặt nước được chiếu sáng, nếu nhìn bề mặt nước từ phía trên xuống.
- Xét trường hợp thực tế khi nước có nồng độ muối không đồng nhất đã trình bày ở trên. Hãy xác định điều kiện đối với góc phát ra của tia sáng ở đáy thùng để tia sáng có thể ló ra khỏi bề mặt nước. Phác họa đường đi của tia sáng không thỏa mãn điều kiện đó.

II. Xét không khí ở phía trên mặt đường cao tốc dưới ánh nắng mùa hè. Trên mặt đường, nhiệt độ không khí là $T_h = 60^\circ\text{C}$. Lên cao, nhiệt độ giảm dần. Từ độ cao 1m trở lên, không khí

mát hơn và có nhiệt độ $T_c = 30^\circ\text{C}$. Chiết suất $n(T)$ của không khí là một hàm của nhiệt độ và liên quan đến mật độ không khí $\rho(T)$ theo hệ thức

$$n(T)-1 \sim \rho(T) \quad .$$

Ở đây, T là nhiệt độ tuyệt đối của không khí. Giả thiết rằng mật độ không khí tỷ lệ nghịch với nhiệt độ, áp suất không khí như nhau tại mọi điểm và bằng 1 atm. Chiết suất không khí ở nhiệt độ 15°C và áp suất 1 atm là 1,000276.

Nếu mắt người lái xe ô tô cách mặt đường 1,5m thì mặt đường trở nên mờ ảo ở cách mắt bao xa (hiện tượng ảo ảnh)?

Giải

I.

- a. Tia sáng từ bóng đèn đi tới mặt nước có góc tới lớn hơn góc giới hạn θ_0 sẽ phản xạ toàn phần và không ló ra khỏi nước. Góc θ_0 được xác định bởi phương trình

$$1,3 \sin \theta_0 = 1 \sin 90^\circ \quad ,$$

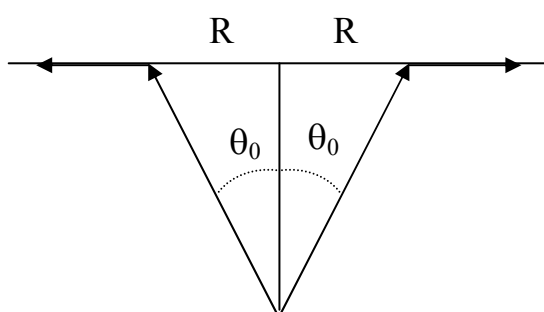
do đó $\theta_0 = 50,3^\circ$.

Chỉ những tia sáng có góc tới nhỏ hơn góc tới hạn θ_0 mới ló ra khỏi mặt nước. Vì vậy, nếu nhìn từ trên xuống, diện tích mặt nước được bóng đèn chiếu sáng là một hình tròn bán kính R với

$$R = 1 \tan 50,3^\circ = 1,20\text{m} \quad .$$

Diện tích được chiếu sáng là

$$S = \pi R^2 = 4,56 \text{ m}^2 \quad .$$



- b. Để tia sáng ló ra khỏi nước, góc tới của tia sáng tại bề mặt phải nhỏ hơn góc tới hạn θ_0 . Theo định luật khúc xạ, ta có

$$n \sin \theta = \text{const} \quad .$$

Do đó, góc θ của tia sáng tại đáy thùng phải nhỏ hơn góc θ_1 thỏa mãn phương trình

$$n_1 \sin \theta_1 = n_0 \sin \theta_0$$

với n_1 là chiết suất của nước muối ở độ sâu 1m (tức là ở đáy thùng)

$$n_1 = n_0 + \alpha h = 1,3 + 0,05 \cdot 1 = 1,35 \quad .$$

Vậy

$$\sin \theta_1 = n_0 \sin \theta_0 / n_1 = 1 / n_1 = 0,7407 \quad ,$$

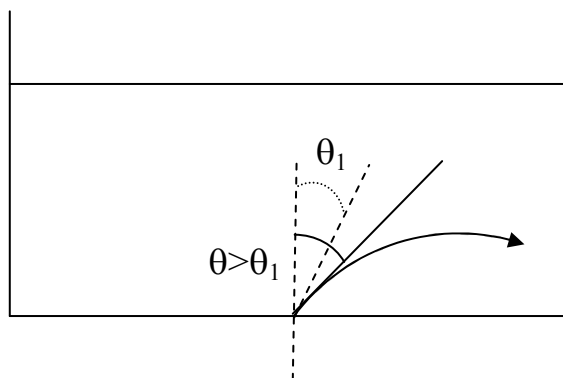
tức là

$$\theta < \theta_1 = 47,8^\circ \quad .$$

Nếu góc $\theta > \theta_1$ thì tồn tại $x < h$ thỏa mãn phương trình

$$n_1 \sin \theta = (n_0 + \alpha x) \sin \theta = (n_0 + \alpha x) \sin 90^\circ \quad .$$

Điều này có nghĩa tia sáng đi từ đáy thùng có góc $\theta > \theta_1$ sẽ bị phản xạ toàn phần ở độ sâu $x < h$, do đó đi ngược lại về đáy thùng và không ló ra khỏi mặt nước. Đường đi của tia sáng này được phác họa ở hình vẽ dưới đây.



II. Chiết suất của không khí phụ thuộc vào nhiệt độ tuân theo hệ thức

$$n(T) - 1 \sim \rho(T) \sim \frac{1}{T} ,$$

do đó, chiết suất thay đổi theo độ cao so với mặt đường. Ánh sáng truyền trong không khí giống như trong trường hợp truyền trong nước muối đã xét ở phần trên. Tia sáng có thể đi đến mắt người lái xe như trong hình vẽ. L chính là khoảng cách từ mắt đến nguồn sáng biểu kiến của tia sáng dường như xuất phát từ bề mặt đường. Trên thực tế, tia sáng này đi từ bầu trời nên mặt đường dường như có màu xanh và trở nên mờ ảo.

Chiết suất của không khí ở ngay sát mặt đường n_h và ở độ cao 1m n_c là

$$n_h = 1 + (288/333) (1,000276 - 1) = 1,000239 ,$$

$$n_c = 1 + (288.303) (1,000276 - 1) = 1,000262 .$$

Góc θ được xác định từ phương trình

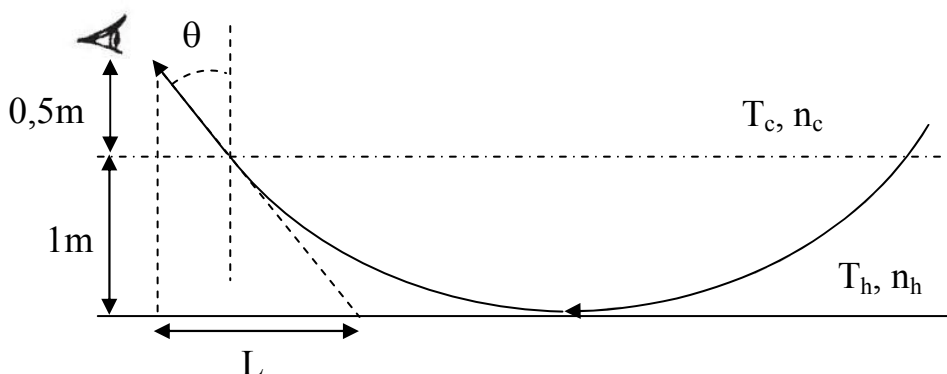
$$n_c \sin \theta = n_h \sin 90^\circ \quad \text{hay} \quad \sin \theta = n_h / n_c .$$

Do đó

$$\theta = 89,61^\circ .$$

Ta có

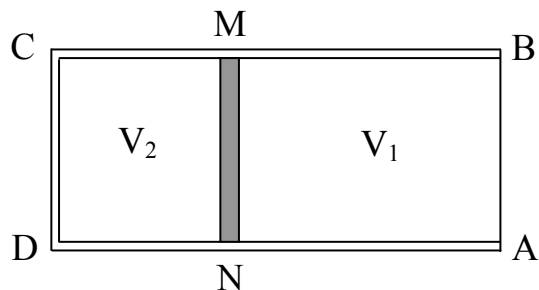
$$L = 1,5 \tan 89,61 \approx 220 \text{ m}$$



CÂU 3.

Cho một xi-lanh kín ABCD đặt nằm ngang. Thành bên AD và BC, nắp CD và pít-tông MN được làm bằng vật liệu không dẫn nhiệt, trong khi đó đáy AB thì dẫn nhiệt. Pít-tông MN có thể chuyển động không có ma sát trong xi-lanh. Bên trái và bên phải pít-tông đều có 1 mol cùng một chất khí lý tưởng có nhiệt dung mol đẳng tích C_V và chỉ số đoạn nhiệt (hệ số

Poisson) γ . Khối khí ở bên phải pít-tông được đốt nóng (hoặc làm lạnh) làm cho pít-tông chuyển động rất chậm. Hãy biểu diễn nhiệt dung C_I của khối khí này trong quá trình đang xét thông qua thể tích V_1 và V_2 của hai khối khí. Khi đó nhiệt dung C_2 của khối khí bên trái pít-tông bằng bao nhiêu? Nếu nắp CD dẫn nhiệt nhưng nhiệt độ của khối khí bên trái được giữ không đổi thì kết quả thay đổi thế nào?



Giải

Yếu tố nhiệt lượng mà khối khí bên phải nhận được khi nhiệt độ thay đổi một lượng dT_1 là

$$\delta Q_1 = C_V dT_1 + P_1 dV_1 = C_V dT_1 + RT_1 \frac{dV_1}{V_1} \quad (1)$$

Khối khí bên trái pít-tông không nhận nhiệt lượng nên $\delta Q_2 = 0$, do đó $C_2 = 0$ và

$$C_V dT_2 + RT_2 \frac{dV_2}{V_2} = 0 \quad , \quad \text{hay} \quad \frac{dT_2}{T_2} = -\frac{R}{C_V} \frac{dV_2}{V_2} \quad (2)$$

Vì $P_1 = P_2$ nên $V_1 T_2 = V_2 T_1$, suy ra

$$\frac{dV_1}{V_1} - \frac{dV_2}{V_2} = \frac{dT_1}{T_1} - \frac{dT_2}{T_2} \quad (3)$$

Mặt khác, $V_1 + V_2$ không thay đổi nên

$$dV_1 = -dV_2 \quad (4)$$

Thay (2) và (4) vào (3), ta nhận được

$$dV_1 \left(\frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2} + \frac{R}{C_V} \frac{1}{V_2} \right) = \frac{dT_1}{T_1} \quad .$$

Vì $R = C_P - C_V = C_V (\gamma - 1)$ nên có thể viết lại phương trình trên như sau

$$dV_1 = \frac{dT_1}{T_1} \frac{V_1 V_2}{V_2 + \gamma V_1} \quad (5)$$

Thay (5) vào (1), ta có

$$\delta Q_1 = \left(C_V + R \frac{V_2}{V_2 + \gamma V_1} \right) dT_1 \quad (6)$$

Vậy

$$C_1 = \frac{\delta Q_1}{dT_1} = \left(C_V + R \frac{V_2}{V_2 + \gamma V_1} \right) = \gamma C_V \frac{V_1 + V_2}{V_2 + \gamma V_1} . \quad (7)$$

Xét trường hợp nắp CD dẫn nhiệt và nhiệt độ T_2 của khối khí bên trái được giữ không đổi. Khi đó ta có phương trình (1) và phương trình

$$\delta Q_2 = P_2 dV_2 . \quad (8)$$

Phương trình (3) quy về

$$\frac{dV_1}{V_1} - \frac{dV_2}{V_2} = \frac{dT_1}{T_1} . \quad (9)$$

Thay (4) vào (9) và sử dụng (1), ta nhận được

$$\delta Q_1 = \left(C_V + R \frac{V_2}{V_2 + V_1} \right) dT_1 = C_V \frac{V_1 + \gamma V_2}{V_1 + V_2} dT_1 , \quad (10)$$

do đó

$$C_1 = C_V \frac{V_1 + \gamma V_2}{V_1 + V_2} . \quad (11)$$

Vì δQ_2 hữu hạn mà $dT_2 = 0$ nên $C_2 = \infty$.

CÂU 4.

Muon là hạt μ có cùng điện tích và spin như electron nhưng có khối lượng nghỉ $m_\mu = 207 m_e$, trong đó m_e là khối lượng nghỉ của electron.

- Giả thiết rằng hạt μ có tốc độ v_μ và chạm không đàn hồi với proton đứng yên và tạo thành một hệ liên kết giống như nguyên tử hydro. Nếu bỏ qua năng lượng liên kết của nguyên tử này thì tốc độ của nguyên tử sau va chạm là bao nhiêu?
- Nếu nguyên tử tạo bởi muon và proton ở câu hỏi a chuyển từ trạng thái kích thích thứ nhất về trạng thái cơ bản thì phát ra photon có năng lượng bằng bao nhiêu?
- Muon là hạt không bền, nó phân rã thành electron e , neutrino ν và phản neutrino $\bar{\nu}$

$$\mu \rightarrow e + \nu + \bar{\nu} .$$

Giả thiết rằng neutrino và phản neutrino có khối lượng nghỉ bằng 0. Hãy tính động năng lớn nhất của electron được tạo thành khi hạt μ đứng yên phân rã .

Cho biết proton có khối lượng nghỉ $m_p = 1836 m_e$.

Giải

- Ký hiệu p_μ là xung lượng của hạt μ , M và P là khối lượng và xung lượng của nguyên tử. Ta có các phương trình thể hiện bảo toàn năng lượng và xung lượng

$$\sqrt{(m_\mu c^2)^2 + (p_\mu c)^2} + m_p c^2 = \sqrt{(Mc^2)^2 + (Pc)^2} + E_b , \quad (1)$$

$$p_\mu = P . \quad (2)$$

Ở đây, E_b là năng lượng liên kết của nguyên tử.

Bỏ qua E_b , ta rút ra

$$\begin{aligned} M^2 &= m_\mu^2 + m_p^2 + 2m_p \sqrt{m_\mu^2 + \left(\frac{p_\mu}{c}\right)^2} \\ &= m_\mu^2 + m_p^2 + 2m_\mu m_p \frac{1}{\sqrt{1 - (v_\mu/c)^2}} \end{aligned} \quad (3)$$

Mặt khác,

$$P = \frac{M}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}} V, \quad p_\mu = \frac{m_\mu}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_\mu}{c}\right)^2}} v_\mu, \quad (4)$$

với V là tốc độ của nguyên tử.

Thay (3) vào (4), chú ý đến (2), ta có

$$V = \frac{m_\mu}{m_\mu + m_p \sqrt{1 - (v_\mu/c)^2}} v_\mu \quad (5)$$

b. Đối với nguyên tử hydro, các mức năng lượng được cho bởi biểu thức

$$E_n = -\frac{1}{2} \frac{e^4 m_{ep}}{\hbar^2} \frac{1}{n^2} \approx -\frac{1}{2} \frac{e^4 m_e}{\hbar^2} \frac{1}{n^2} = -13,6 \frac{1}{n^2} \text{ eV}, \quad (6)$$

trong đó $n=1, 2, 3, \dots$, m_{ep} là khối lượng rút gọn của electron và proton. Vì $m_e \ll m_p$ nên $m_{ep} \approx m_e$. Đối với hệ muon và proton, các mức năng lượng cũng được xác định bởi biểu thức (6) với sự thay thế m_e bằng m_μ . Do đó năng lượng của photon phát ra khi hệ chuyển từ trạng thái kích thích thứ nhất xuống trạng thái cơ bản là

$$\begin{aligned} E_\gamma &= \frac{1}{2} \frac{e^4 m_\mu}{\hbar^2} \left(1 - \frac{1}{2^2}\right) = 13,6 \left(1 - \frac{1}{2^2}\right) \frac{m_\mu}{m_e} \text{ eV} \\ &= 10,2 \times 207 \text{ eV} \approx 2110 \text{ eV}. \end{aligned}$$

c. Electron có động năng lớn nhất khi hai hạt ν và $\bar{\nu}$ chuyển động theo hướng ngược với hướng chuyển động của electron. Theo định luật bảo toàn năng lượng ta có

$$m_\mu c^2 = \frac{m_e}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} c^2 + E, \quad (7)$$

trong đó $E=E_1+E_2$ là năng lượng của neutrino và phản neutrino, v là tốc độ của electron. Mặt khác, theo định luật bảo toàn động lượng, ta có

$$\frac{m_e}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} v = \frac{E_1}{c} + \frac{E_2}{c} = \frac{E}{c}. \quad (8)$$

Thay (8) vào (7), ta nhận được

$$m_{\mu}c^2 = \frac{m_e}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}c^2 + \frac{m_e}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}cv$$

hay $m_{\mu} = m_e \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}}$ với $\beta = \frac{v}{c}$.

Do đó

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{m_{\mu}^2 + m_e^2}{2m_{\mu}m_e} . \quad (9)$$

Động năng T của electron là

$$T = \sqrt{(m_e c^2)^2 + (\gamma m_e v c)^2} - m_e c^2 = (\gamma - 1)m_e c^2 . \quad (10)$$

Thay (9) vào (10), ta có

$$T = \frac{(m_{\mu} - m_e)^2}{2m_{\mu}} c^2 \approx 103 m_e c^2 . \quad (11)$$

HẾT

Olympic Vật lý sinh viên Toàn quốc lần thứ XVII**Đề thi THỰC NGHIỆM***(Thời gian làm bài 180 phút)***NGHIỆM LẠI ĐỊNH LUẬT STEFAN - BOLTZMANN VÀ XÁC ĐỊNH ĐƯỜNG KÍNH,
CHIỀU DÀI DÂY TÓC BÓNG ĐÈN SỢI ĐỐT****I. Cơ sở lý thuyết**

Khi một vật ở nhiệt độ T (K), vật sẽ phát xạ năng lượng dưới dạng sóng điện từ được gọi là hiện tượng bức xạ nhiệt. Sự phát xạ làm năng lượng của vật giảm dẫn đến nhiệt độ vật giảm. Do đó để duy trì nhiệt độ của vật cần phải liên tục cung cấp năng lượng cho vật để bù lại phần bị mất. Bức xạ nhiệt ở điều kiện nhiệt độ không đổi gọi là bức xạ nhiệt cân bằng. Khi nhiệt độ của vật càng cao thì bức xạ nhiệt càng mạnh.

Định luật Stefan – Boltzmann về bức xạ nhiệt cân bằng: Năng suất phát xạ toàn phần của vật đen tuyệt đối tỉ lệ thuận với lũy thừa bậc bốn của nhiệt độ tuyệt đối của vật đó. $R(T) = \sigma T^4$, với T là nhiệt độ tuyệt đối của vật, σ là hằng số Stefan-boltzmann $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-4}$.

Với vật xám năng suất bức xạ toàn phần có dạng $R(T) = \alpha \sigma T^n$, với α là hệ số phát xạ, n là giá trị lũy thừa ($n \sim 4$).

Trong thí nghiệm này chúng ta khảo sát với vật xám là dây tóc vonfram của bóng đèn điện (hệ số phát xạ trung bình của vonfram $\alpha = 0,35$). Gọi chiều dài của dây tóc là L , bán kính là r .

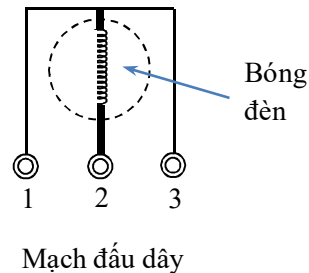
Khi dây tóc được cấp dòng ổn định chạy qua, dây tóc ở nhiệt độ ổn định T , lúc này công suất điện cấp cho đèn sẽ cân bằng với năng lượng bị mất trên dây tóc thông qua các quá trình dẫn nhiệt, đối lưu và bức xạ nhiệt. Khi dây tóc ở nhiệt độ cao (trên 1000K), phần năng lượng tương ứng với các quá trình dẫn nhiệt và đối lưu là rất nhỏ so với phần năng lượng mất mát do bức xạ nhiệt. Bên cạnh đó, thực nghiệm cho thấy trong vùng nhiệt độ 300 K đến 3655 K, nhiệt độ dây tóc phụ thuộc vào điện trở suất ρ của vật liệu dạng: $T = 3,05 \times 10^8 \rho^{0,83}$.

Trong thí nghiệm này chúng ta cần xác định giá trị lũy thừa n để nghiệm lại định luật Stefan-Boltzman (theo lý thuyết $n = 4$) cũng như xác định các thông số L , r của dây tóc bóng đèn.

II. Dụng cụ thí nghiệm

- Nguồn điện biến đổi (chỉ dùng nguồn 1 chiều).
- 01 hộp chứa bóng đèn sợi đốt có dây tóc W cần khảo sát.

- 01 đồng hồ đo điện sử dụng như là vôn kế.
- 01 đồng hồ đo điện sử dụng như là ampe kế.
- 05 dây nối.



Lưu ý:

- Trước khi bật nguồn điện cần kiểm tra lại chân cắm đồng hồ và thang đo.
- Khi đo dòng và thế ở thang đo nhỏ cần phải cẩn trọng tránh gây hư hỏng đồng hồ.
- Không bao giờ chuyển thang đo khi đang có điện ở đầu đo.
- Bỏ qua sự dẫn nở nhiệt của dây tóc trong thời gian làm thí nghiệm.

III. Yêu cầu thí nghiệm

1. Xác định điện trở dây tóc bóng đèn ở nhiệt độ phòng. (10 điểm)

Điện trở dây tóc bóng đèn ở nhiệt độ phòng có thể được xác định thông qua khảo sát đặc trưng Vôn – Ampe trên hai đầu sợi tóc khi cho dòng điện nhỏ chạy qua sợi tóc. Hãy sử dụng Vôn kế ở thang đo DCV 200 mV, 2V và ampe kế ở thang DCA 200 mA.

- Vẽ sơ đồ mắc mạch cho thí nghiệm.
 - Tiến hành đo đặc trưng I-V của sợi đốt và ghi vào bảng số liệu.
 - Vẽ đồ thị về sự phụ thuộc điện trở sợi tóc theo dòng điện, nhận xét.
 - Xác định giá trị điện trở sợi tóc R_{RT} ở nhiệt độ phòng.
 - Tính sai số của giá trị R_{RT} .
2. Xác định giá trị bậc lũy thừa n . (10 điểm)
 - Xây dựng công thức cần thiết và chỉ ra cách xác định n ;
 - Lắp đặt thí nghiệm và tiến hành đo đặc thu thập số liệu (viết bảng số liệu);
 - Xử lý số liệu bằng phương pháp đồ thị và xác định giá trị n .
 - Tính sai số của giá trị n đo được.
 3. Xác định chiều dài L và đường kính r của sợi dây tóc bóng đèn. (10 điểm)
 - Xây dựng công thức cần thiết và nói cách xác định L , r ;
 - Thu thập số liệu cần thiết và tính toán xác định giá trị chiều dài L và bán kính r của dây tóc bóng đèn;

Lưu ý: Để đơn giản có thể coi phần bức xạ từ hai đầu của sợi tóc là nhỏ so với từ phần bề mặt xung quanh.

trong đó ω là tốc độ góc của hành tinh. Vậy độ dịch góc φ_Y sau 5 năm của hành tinh Y là

$$\varphi_Y = \sqrt{27} \varphi_X = \sqrt{27} \times 90^\circ \approx 468^\circ.$$

Câu 3. Tần số âm thấp nhất cộng hưởng trong ống organ một đầu kín một đầu hở là 300 Hz. Hỏi tần số nào dưới đây không cộng hưởng trong ống này?

- | | | | |
|----|---------|----|---------|
| A. | 900 Hz | B. | 2100 Hz |
| C. | 3300 Hz | D. | 3600 Hz |

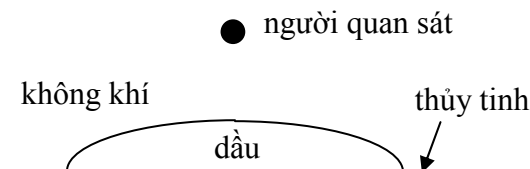
Đáp án: D

Sóng âm có bước sóng λ cộng hưởng trong ống nếu thỏa mãn điều kiện $L = n\lambda/4$, trong đó L là chiều dài ống, n là số nguyên lẻ. Nếu λ_0 (f_0) là bước sóng dài nhất (tần số thấp nhất) của âm thanh cộng hưởng trong ống thì các âm cộng hưởng có bước sóng λ và tần số f thỏa mãn $\lambda = \lambda_0/(2k-1)$, $f = (2k-1)f_0$, $k \geq 1$ là số nguyên cho biết bậc của họa ba tương ứng.

Âm thanh có tần số 3600 Hz = 12×300 Hz không thỏa mãn điều kiện này nên không cộng hưởng trong ống đã cho.

Câu 4. Một giọt dầu (chiết suất $n_1=1,4$) nằm trên một tấm thủy tinh phẳng rất mỏng (chiết suất $n_2=1,5$). Một người quan sát nhìn trực tiếp giọt dầu từ phía trên bằng ánh sáng trắng phản xạ. Với mỗi màu trong phổ khả kiến, người đó nhìn thấy một số vân tròn giao thoa. Hỏi lớp dầu dày khoảng bao nhiêu tại vị trí vân xanh thứ ba tính từ mép ngoài giọt dầu? Có thể lấy bước sóng ánh sáng xanh là $\lambda = 450$ nm.

- A. 482 nm
B. 563 nm
C. 675 nm
D. 788 nm



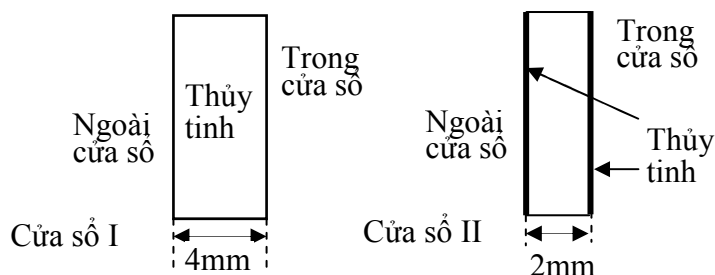
Đáp án: A

Ký hiệu d là độ dày lớp dầu tại vị trí vân xanh thứ ba. Vân sáng được tạo thành do sự giao thoa của các tia sáng phản xạ tại mặt phân cách không khí – dầu và tại mặt phân cách dầu – thủy tinh. Do đó ta có

$$2dn_1 = 3\lambda \quad \rightarrow \quad d = \frac{3}{2n_1} \lambda \approx 482 \text{ nm}.$$

Câu 5. Hai cửa sổ I và II có kích thước như nhau. Cửa sổ I làm bằng tấm thủy tinh dày 4mm. Cửa sổ II gồm hai lớp thủy tinh rất mỏng cách nhau bởi một lớp không khí dày 2mm. Độ dẫn nhiệt của thủy tinh và của không khí lần lượt bằng 0,8 W/(m °C) và 0,025 W/(m °C). Tỷ số tốc độ dòng nhiệt qua cửa sổ I và qua cửa sổ II là

- A. 2
B. 4
C. 8
D. 16



Đáp án: D

Tốc độ dòng nhiệt tỷ lệ thuận với độ chênh lệch nhiệt độ ΔT giữa hai đầu vật dẫn nhiệt và tiết diện S của vật dẫn, tỷ lệ nghịch với khoảng cách L giữa hai đầu vật dẫn

$$\frac{dQ}{dt} = -kS \frac{\Delta T}{L}.$$

Hệ số tỷ lệ là độ dẫn nhiệt k của vật liệu. Thay số liệu vào công thức trên, bỏ qua độ dày của hai lớp thủy tinh ở cửa sổ II, ta nhận được tỷ số tốc độ dòng nhiệt qua cửa sổ I và cửa sổ II là 16.

Câu 6. Cây đang sống có lượng carbon phóng xạ ^{14}C không thay đổi. Người ta lấy một mẫu gỗ đã chết có khối lượng 1g để tính tuổi của gỗ đó. Độ phóng xạ ^{14}C của mẫu bằng 12,5% độ phóng xạ của cây gỗ đang sống hiện nay. Cho biết chu kỳ bán rã của ^{14}C là $T_{1/2} = 5734$ năm. Tuổi của mẫu gỗ là

- | | | | |
|----|-----------|----|-----------|
| A. | 3970 năm | B. | 8270 năm |
| C. | 13200 năm | D. | 17200 năm |

Đáp án: D

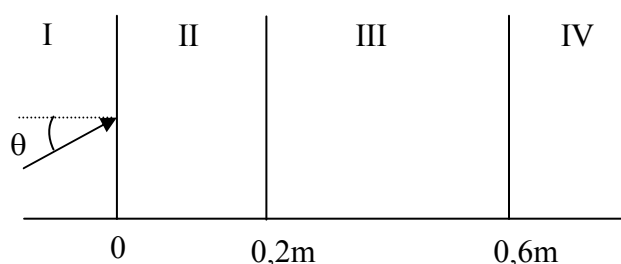
Lấy gốc tính thời gian $t=0$ là thời điểm cây chết. Ký hiệu N_0 và $N(t)$ lần lượt là số hạt nhân ^{14}C ở thời điểm $t = 0$ và ở thời điểm hiện tại. Từ biểu thức

$$N(t) = N_0 e^{-t/\tau}$$

ta có $-\frac{dN(t)}{dt} = \frac{N_0}{\tau} e^{-t/\tau} = \frac{12,5}{100} \frac{N_0}{\tau}$ với τ là thời gian sống, $\tau = T_{1/2}/(\ln 2) \approx 8272$ năm. Cuối cùng, ta nhận được

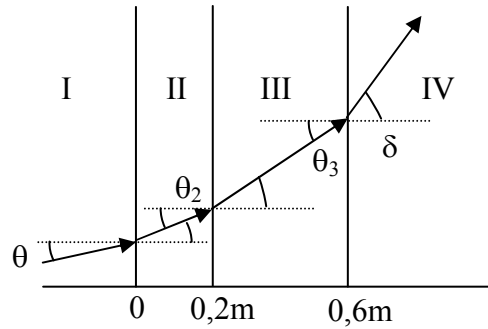
$$t = \tau \ln \frac{100}{12,5} \approx 17200 \text{ năm.}$$

Câu 7. Một tia sáng đi từ miền I đến miền IV (xem hình vẽ). Chiết suất của các miền I, II, III, và IV lần lượt là n_0 , $n_0/2$, $n_0/3$, và $n_0/4$. Góc θ bằng bao nhiêu vừa đủ để tia sáng không đi vào miền IV?



- | | | | |
|----|-------------------------|----|-------------------------|
| A. | $\theta = \arcsin(1/2)$ | B. | $\theta = \arcsin(1/3)$ |
| C. | $\theta = \arcsin(1/4)$ | D. | $\theta = \arcsin(3/4)$ |

Đáp án: C



Theo định luật khúc xạ, ta có

$$n_0 \sin \theta = \frac{n_0}{2} \sin \theta_2 = \frac{n_0}{3} \sin \theta_3 = \frac{n_0}{4} \sin \delta .$$

Tia sáng không đi vào miền IV nếu $\delta = 90^\circ$, hay $\sin \theta = \frac{1}{4}$, tức là $\theta = \arcsin \frac{1}{4}$.

Câu 8. Trong thí nghiệm Young hai khe người ta dùng ánh sáng có bước sóng $\lambda = 0,4 \mu\text{m}$. Khi đặt một bản mỏng trong suốt có chiết suất $n = 1,5$ trước một khe thì vân trung tâm chuyển dịch đến vị trí vân sáng bậc 3. Bề dày e của bản có giá trị nào sau đây

- A. $2,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ B. $0,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ C. $1,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ D. $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

Đáp án: A

Hiệu quang trình ứng với vân sáng bậc m là $\Delta L = m\lambda$. Nếu hiệu quang trình thay đổi một lượng dL thì bậc của vân sáng thay đổi một lượng dm . Ta có $dL = dm \lambda$. Khi ánh sáng đi qua bản mỏng có độ dày e , quang trình thay đổi một lượng $dL = (n - 1)e$, bậc của vân sáng thay đổi $dk = 3$. Suy ra $e = 3\lambda/(n-1) = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}$.

Câu 9. Chùm ánh sáng không phân cực truyền vuông góc qua hai kính lọc phân cực giống nhau đặt song song với nhau. Hướng phân cực của hai kính lập với nhau một góc θ . Hai kính này không hoàn hảo nên chúng hấp thụ một phần ánh sáng tới. Biết rằng cường độ ánh sáng truyền qua kính thứ nhất bằng 30% cường độ ánh sáng tới, còn cường độ ánh sáng truyền qua cả hai kính bằng 13,5% cường độ ánh sáng tới. Góc θ giữa hướng phân cực của hai kính là

- A. 30° B. 45° C. 60° D. 90°

Đáp án: A

Ký hiệu η là hệ số truyền qua của kính phân cực, I_0 (I_1) là cường độ ánh sáng tới kính 1 (kính 2), I là cường độ ánh sáng truyền qua cả hai kính. Ta có

$$I_1 = \frac{1}{2} \eta I_0 \quad , \quad I = \eta I_1 \cos^2 \theta .$$

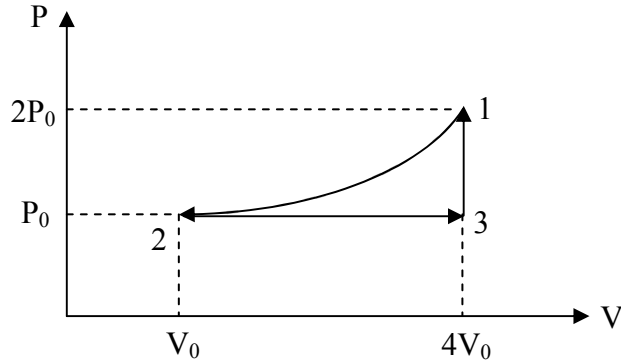
Mặt khác,

$$I_1 = \alpha_1 I_0 \quad , \quad I = \alpha_2 I_0$$

với $\alpha_1 = 30\%$, $\alpha_2 = 13,5\%$. Do đó,

$$\cos \theta = \sqrt{\frac{\alpha_2}{2\alpha_1^2}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad \rightarrow \quad \theta = 30^\circ.$$

Câu 10. 1 mol khí lí tưởng đơn nguyên tử thực hiện chu trình như hình vẽ. Giả thiết nhiệt dung mol đẳng tích C_V và đẳng áp C_p không phụ thuộc vào nhiệt độ.



Độ biến thiên entropy của khối khí trong quá trình 1-2 là

- | | | | |
|----|----------|----|-----------|
| A. | 37,4 J/K | B. | -37,4 J/K |
| C. | 25,4 J/K | D. | -25,4 J/K |

Đáp án: B

Ký hiệu ΔS_{a-b} là độ biến thiên entropy trong quá trình a-b. Ta có

$$\Delta S_{1-2} = \Delta S_{1-3} + \Delta S_{3-2}.$$

Quá trình 3-1 là quá trình đẳng tích. Do đó

$$\Delta S_{1-3} = \int_1^3 \frac{dQ}{T} = nC_V \int_1^3 \frac{dT}{T},$$

trong đó n là số mol khí.

Từ phương trình $PV=nRT$ rút ra $V dP = nR dT$ đối với quá trình đẳng tích. Do đó

$$\Delta S_{1-3} = nC_V \int_1^3 \frac{V dP}{nR} \frac{nR}{PV} = \int_1^3 nC_V \frac{dP}{P} = nC_V \ln \frac{P_3}{P_1} = -nC_V \ln 2.$$

Tương tự, đối với quá trình đẳng áp 2-3 ta có

$$\Delta S_{3-2} = n \int_3^2 C_p \frac{dV}{V} = nC_p \ln \frac{V_2}{V_3} = -2nC_p \ln 2.$$

Do đó

$$\Delta S_{1-2} = -n(C_V + 2C_p) \ln 2 = -n(3C_V + 2R) \ln 2.$$

Mặt khác, đối với khí đơn nguyên tử, $C_V = \frac{3}{2}R$. Thay giá trị của hằng số khí

$R=8,31 \text{ J/(mol.K)}$, $n = 1 \text{ mol}$, ta có

$$\Delta S_{1-2} = -\frac{13}{2}nR \ln 2 \approx -37,4 \text{ J/K}.$$

Câu 11. Một thanh kim loại quay đều xung quanh trục thẳng đứng đi qua tâm của thanh và vuông góc với chiều dài thanh. Thanh quay trong từ trường đều có phương song song với trục quay. Hiệu điện thế cảm ứng giữa hai đầu thanh

- A. có giá trị dao động dạng hình sin.
- B. có giá trị bằng 0.
- C. có giá trị dương.
- D. có giá trị âm.

Đáp án: B

Hiệu điện thế cảm ứng giữa điểm giữa thanh và hai đầu thanh có độ lớn bằng nhau và cùng dấu. Do đó hiệu điện thế giữa hai đầu thanh bằng 0.

Câu 12. Trong phản ứng phân hạch, hạt nhân uran U phân thành hai hạt nhân có khối lượng trung bình. Các hạt nhân con thường có dư số neutron so với hạt nhân bền, do đó chúng sẽ phân rã. Sự rã phóng xạ này là

- | | | | |
|----|--------------|----|--------------|
| A. | Rã meson | B. | Rã β^- |
| C. | Rã β^+ | D. | Rã proton |

Đáp án: B

Do hạt nhân con có dư neutron nên neutron sẽ phân rã để hạt nhân con chuyển thành hạt nhân bền. Phân rã của neutron là rã β^- .

Câu 13. Các photon là các lượng tử ánh sáng. Đó là các hạt cơ bản có khối lượng nghỉ bằng 0, trong chân không chúng luôn chuyển động với tốc độ c. Khi đi vào trong một bể nước, các photon của ánh sáng xanh chuyển động với tốc độ bằng bao nhiêu, biết chiết suất của nước với ánh sáng xanh là n?

- | | | | |
|----|-----|----|-------------------|
| A. | c | B. | nc |
| C. | c/n | D. | $c/(n^2+1)^{1/2}$ |

Đáp án: A

Photon có năng lượng $E_\gamma = hf \neq 0$, trong đó f là tần số của ánh sáng.

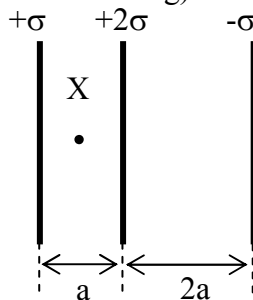
Một hạt có khối lượng nghỉ m chuyển động với tốc độ v có năng lượng

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}.$$

Vì thế, một hạt có khối lượng nghỉ bằng 0 và có năng lượng khác 0 chỉ có thể chuyển động với tốc độ $v = c$.

Câu 14. Ba bản phẳng rộng vô hạn được đặt song song với nhau như trên hình vẽ. Các bản tích điện với mật độ điện tích bề mặt lần lượt là $+\sigma$, $+2\sigma$, và $-\sigma$. Điện trường tổng cộng tại điểm X là (ϵ_0 là hằng số điện môi của chân không)

- A. $\sigma/(2\epsilon_0)$, hướng sang phải.
- B. $\sigma/(2\epsilon_0)$, hướng sang trái.
- C. $4\sigma/(2\epsilon_0)$, hướng sang trái.
- D. 0.



Đáp án: D

Điện trường gây bởi bản phẳng rộng vô hạn tại điểm bất kỳ bên ngoài bản có độ lớn $\sigma/(2\epsilon_0)$, trong đó σ là mật độ điện tích bề mặt của bản phẳng. Điện trường gây bởi hai bản tích điện $+\sigma$ và $-\sigma$ có độ lớn bằng điện trường gây bởi bản tích điện $+2\sigma$ nhưng ngược chiều. Do đó điện trường tổng cộng bằng 0.

Câu 15. Một cách tử nhiễu xạ có thể phân biệt được hai bước sóng 400,0 nm và 400,1 nm ở cực đại bậc một. Tổng số khe của cách tử là

- A. 400
- B. 1000
- C. 2500
- D. 4000

Đáp án: D

Đối với cách tử nhiễu xạ ta có

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = Nm$$

trong đó N là tổng số khe của cách tử, $\Delta\lambda$ là độ chênh lệch nhỏ nhất giữa hai bước sóng mà cách tử còn phân biệt được ở cực đại bậc m . Thay các giá trị số, ta nhận được $N = 4000$.

Câu 16. Một quả cầu có bán kính R trong hệ tọa độ riêng của nó. Quả cầu chuyển động với vận tốc $v=0,5c$ dọc theo trục x trong hệ tọa độ phòng thí nghiệm, trong đó c là tốc độ của ánh sáng trong chân không. Đối với người quan sát đứng yên trong hệ tọa độ phòng thí nghiệm, phương trình xác định bề mặt quả cầu đó là

- A. $(3/4)x^2 + y^2 + z^2 = R^2$
- B. $x^2 + y^2 + z^2 = 4R^2/3$
- C. $(x/2)^2 + y^2 + z^2 = R^2$
- D. $(4/3)x^2 + y^2 + z^2 = R^2$

Đáp án: D

Phương trình mặt cầu trong hệ tọa độ riêng của quả cầu là

$$x^2 + y^2 + z^2 = R^2 \quad \text{hay} \quad \left(\frac{x}{R}\right)^2 + \left(\frac{y}{R}\right)^2 + \left(\frac{z}{R}\right)^2 = 1$$

Đối với người quan sát đứng yên, kích thước quả cầu theo chiều trục x là

$$R' = R \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = \frac{\sqrt{3}}{2} R$$

Do đó, xét trong hệ tọa độ phỏng thí nghiệm, phương trình bề mặt quả cầu là

$$\left(\frac{x}{\sqrt{3}R/2}\right)^2 + \left(\frac{y}{R}\right)^2 + \left(\frac{z}{R}\right)^2 = 1 \quad \text{hay} \quad \frac{4}{3}x^2 + y^2 + z^2 = R^2.$$

Câu 17. Một giọt thủy ngân hình cầu có điện tích $8Q$ tách thành 8 giọt hình cầu như nhau có cùng bán kính và điện tích. Sau khi các giọt thủy ngân tách ra xa nhau đến mức có thể bỏ qua tương tác giữa chúng, tỷ lệ phần trăm của năng lượng tĩnh điện ban đầu chuyển sang dạng năng lượng khác là

- | | | | |
|----|-----|----|-----|
| A. | 0% | B. | 25% |
| C. | 50% | D. | 75% |

Đáp án: D

Năng lượng tĩnh điện của quả cầu dẫn điện bán kính R và có điện tích q là $\frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 R}$.

Mỗi giọt thủy ngân nhỏ có điện tích Q và bán kính bằng $1/2$ bán kính giọt thủy ngân ban đầu. Năng lượng tĩnh điện của mỗi giọt nhỏ bằng $1/32$ năng lượng tĩnh điện của giọt thủy ngân to. Do đó năng lượng tĩnh điện của 8 giọt bằng $1/4$ năng lượng tĩnh điện ban đầu. Vậy 75% năng lượng tĩnh điện đã chuyển sang dạng năng lượng khác.

Câu 18. Một khối khí lý tưởng giãn nở thỏa mãn phương trình $PT^2 = \text{const}$. Hệ số nở khối của khí này là

- | | | | |
|----|-------|----|-------|
| A. | $1/T$ | B. | $2/T$ |
| C. | $3/T$ | D. | $4/T$ |

Đáp án: C

Từ phương trình trạng thái $PV = nRT$ kết hợp với phương trình $PT^2 = \text{const}$ suy ra $T^3 = \alpha V$ (α là hằng số). Ta có

$$\frac{\alpha dV}{\alpha V} = \frac{3T^2 dT}{T^3} \rightarrow \frac{dV}{V} = \frac{3}{T} dT \equiv \gamma dT \rightarrow \gamma = \frac{3}{T}$$

với γ là hệ số nở khối.

Câu 19. Năng lượng cần thiết để chuyển ion He^+ thành ion He^{++} là bao nhiêu, biết rằng năng lượng ion hóa của hydro là 13,6 eV?

- | | | | | | | | |
|----|---------|----|---------|----|---------|----|---------|
| A. | 13,6 eV | B. | 29,2 eV | C. | 42,8 eV | D. | 54,4 eV |
|----|---------|----|---------|----|---------|----|---------|

Đáp án: D

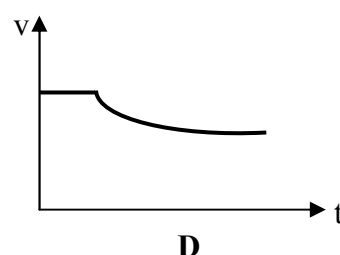
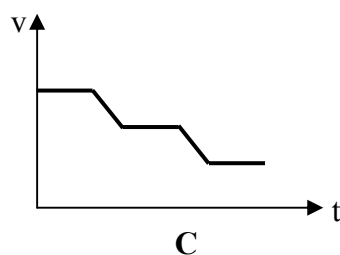
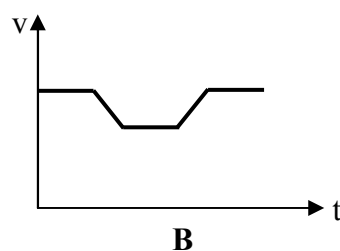
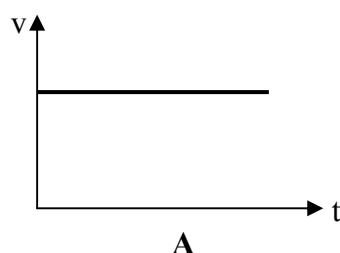
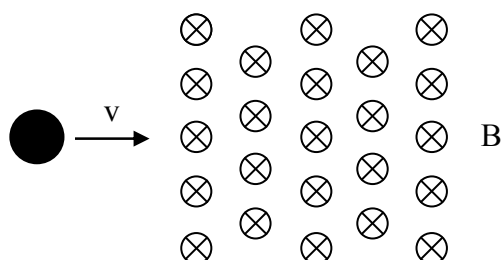
Các mức năng lượng của nguyên tử hydro tỷ lệ với e^4 , e là điện tích nguyên tố. Do đó, các mức năng lượng của hệ gồm một electron và hạt nhân có Z proton tỷ lệ với Z^2 . Vậy năng lượng trạng thái cơ bản của ion heli He^+ là

$$E(\text{He}^+) = 4 E(\text{H}) = 4(-13,6 \text{ eV}) = -54,4 \text{ eV},$$

với $E(\text{H})$ là năng lượng trạng thái cơ bản của hydro.

Do đó, năng lượng ion hóa của ion heli He^+ là 54,4 eV.

Câu 20. Một đồng xu bằng đồng trượt không ma sát trên mặt bàn nằm ngang, đi qua một miền hình vuông (có kích thước lớn hơn nhiều kích thước đồng xu) có từ trường đều không đổi vuông góc với mặt bàn (xem hình vẽ). Đồ thị nào phác họa tốc độ của đồng xu như là hàm của thời gian?



Đáp án: C

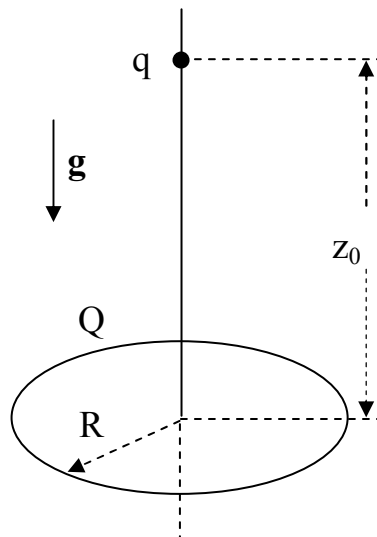
Khi đồng xu chuyển động ở bên ngoài miền từ trường hoặc nằm hoàn toàn trong miền từ trường thì từ thông qua mặt đồng xu không thay đổi, trong đồng xu không có dòng điện cảm ứng, không có lực tác dụng lên đồng xu, do đó đồng xu chuyển động với tốc độ không đổi. Trong khoảng thời gian đồng xu đi qua ranh giới miền từ trường, từ thông qua mặt đồng xu thay đổi, trong lòng đồng xu có dòng điện cảm ứng, lực từ có tác dụng cản trở đồng xu đi vào miền từ trường (ở ranh giới phía bên trái) hoặc đi ra khỏi miền từ trường (ở ranh giới bên phải), làm giảm tốc độ của đồng xu. Do đó đồ thị C phác họa sự thay đổi theo thời gian của tốc độ đồng xu.

PHẦN GIẢI BÀI TẬP

(180 phút không kể thời gian phát đề)

Bài 1.

Cho một vành mảnh làm bằng chất điện môi, bán kính R , tích điện $Q > 0$ phân bố đều trên vành. Vành được đặt nằm ngang trong trọng trường. Một hạt bụi rất nhỏ khối lượng m , tích điện $q > 0$, nằm trên trục của vành ở phía trên cách tâm vành một khoảng z_0 (xem hình vẽ). Bằng đồ thị, hãy khảo sát chuyển động của hạt bụi phụ thuộc vào vị trí ban đầu z_0 (xét tính chất của chuyển động: đều, nhanh dần, chậm dần, dao động ..., các vị trí cân bằng). Giả thiết rằng hạt bụi chỉ chịu tác dụng của trọng lực và lực tĩnh điện gây ra bởi vành.



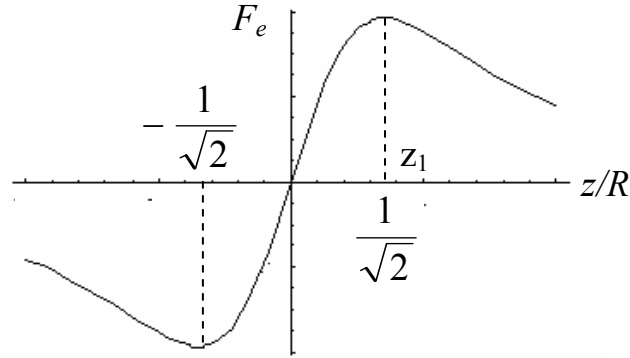
Bài giải

Chọn trục z trùng với trục của vành, hướng lên trên, điểm $z = 0$ đặt tại tâm của vành. Lực tổng cộng tác dụng lên hạt bụi là

$$\begin{aligned} F(z) &= F_e + F_g \\ &= k \frac{qQ}{(R^2 + z^2)^{3/2}} z - mg \end{aligned} \quad (1)$$

trong đó $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,99 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$, g là gia tốc trọng trường, F_e là lực tĩnh điện, F_g là lực hấp dẫn.

Để thấy $F_e(0) = 0$, $F_e \rightarrow 0$ khi $|z| \rightarrow \infty$, $F_e > 0$ với $z > 0$, $F_e < 0$ với $z < 0$. Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của F_e vào z có dạng



Giá trị cực đại $F_{e,\max}$ của F_e đạt được tại điểm $z_1 > 0$ là nghiệm của phương trình $\frac{dF_e}{dz} = 0$. Ta nhận được $z_1 = R/\sqrt{2}$, $F_{e,\max} = k \frac{2qQ}{3^{3/2} R^2}$.

Đồ thị của lực tổng cộng $F(z)$ có dạng giống đồ thị của F_e , nhận được bằng cách tịnh tiến đồ thị F_e ngược chiều trục z một đoạn bằng mg .

- Trường hợp $F_{e,\max} < mg$:

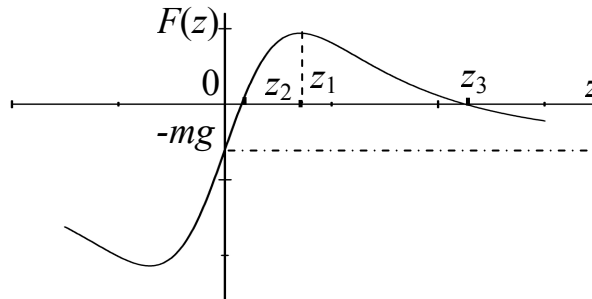
Lực tổng cộng $F < 0$ tại mọi điểm, hạt bụi sẽ chuyển động nhanh dần ngược chiều trục z ra xa vô cùng, không phụ thuộc vào vị trí ban đầu của hạt bụi.

- Trường hợp $F_{e,\max} = mg$:

$F < 0$ nếu $z \neq z_1$ và $F = 0$ tại $z = z_1$. Do đó, nếu $z_0 \neq z_1$ hạt bụi chuyển động nhanh dần ngược chiều trục z ra xa vô cùng. Vị trí $z = z_1$ là vị trí cân bằng không bền.

- Trường hợp $F_{e,\max} > mg$:

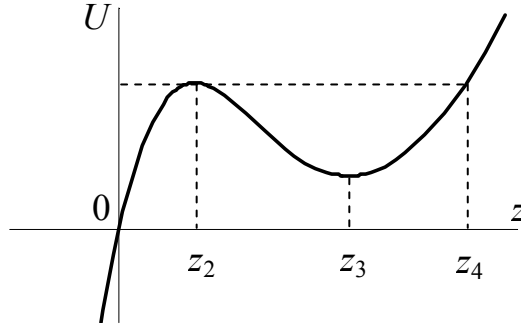
Đồ thị của lực tổng cộng $F(z)$ như là hàm của z có dạng



Lực tổng cộng $F = 0$ tại hai điểm z_2, z_3 ($0 < z_2 < z_1 < z_3$). $F < 0$ nếu $z < z_2$ hoặc $z > z_3$, $F > 0$ nếu $z_2 < z < z_3$. Thế năng tổng cộng của hạt bụi là

$$\begin{aligned}
U(z) &= -\int_0^z dz F(z) = -kqQ \int_0^z dz \frac{z}{(R^2 + z^2)^{3/2}} + mgz \\
&= kqQ \left[\frac{1}{\sqrt{R^2 + z^2}} - \frac{1}{R} \right] + mgz
\end{aligned} \tag{2}$$

với điều kiện $U(z=0)=0$. Đồ thị của $U(z)$ có dạng



Ký hiệu z_4 là điểm mà $U(z_2) = U(z_4)$. Do đó,

- Nếu $z_0 < z_2$ hoặc $z_0 > z_4$: hạt chuyển động nhanh dần ngược chiều trục z ra xa vô cùng.

Nếu $z_2 < z_0 < z_4$, hạt dao động xung quanh vị trí z_3 . Nếu z_0 rất gần z_3 , lực tác dụng lên hạt có biểu thức gần đúng

$$F(z) \approx -\alpha \xi \quad , \tag{3}$$

trong đó

$$\xi = z - z_3 \quad , \quad \alpha = -\left. \frac{dF}{dz} \right|_{z=z_3} = -k \frac{qQ}{(R^2 + z_3^2)^{3/2}} \left[1 - \frac{3z_3^2}{R^2 + z_3^2} \right] > 0 \quad . \tag{4}$$

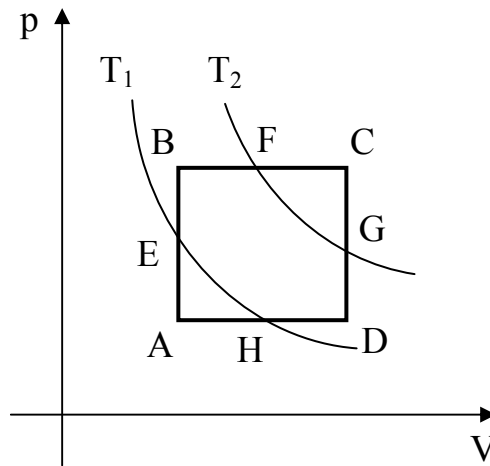
Trong trường hợp này, hạt bụi dao động điều hòa xung quanh vị trí z_3 với tần số góc $\omega = \sqrt{\frac{\alpha}{m}}$, biên độ $\xi_0 = |z_0 - z_3|$.

Vị trí z_2 là vị trí cân bằng không bền, vị trí z_3 là vị trí cân bằng bền.

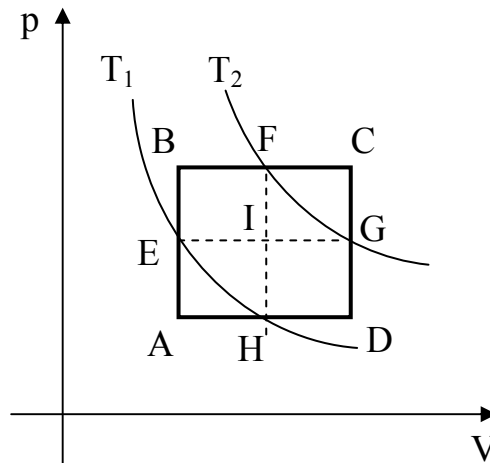
Bài 2.

Xét một chu trình gồm hai quá trình đẳng tích và hai quá trình đẳng áp. Trên hình vẽ là giản đồ p - V của chu trình. Hoạt chất là 1 mol khí lý tưởng gồm các phân tử hai nguyên tử. Điểm giữa đường đẳng áp phía dưới H và điểm giữa đường đẳng tích bên trái E nằm trên cùng một đường đẳng nhiệt ứng với nhiệt độ T_1 . Điểm giữa đường đẳng áp phía trên F và điểm giữa đường đẳng tích bên phải G nằm trên cùng một đường đẳng nhiệt ứng với nhiệt độ T_2 .

- Xác định nhiệt độ của khối khí tại các điểm A , B , C , và D .
- Xác định công khối khí thực hiện trong chu trình $ABCD$.
- Xác định hiệu suất lý thuyết của máy nhiệt hoạt động theo chu trình này.



Bài giải



- Trong quá trình đẳng tích, áp suất tỷ lệ thuận với nhiệt độ. Tương tự, trong quá trình đẳng áp, thể tích cũng tỷ lệ thuận với nhiệt độ. Đường EG là đường đẳng áp, đường FH là đường đẳng tích. Tại giao điểm I của đường EG và FH ta có

$$T_I = \frac{T_E + T_G}{2} = \frac{1}{2}(T_1 + T_2) \quad . \quad (1)$$

Ta cũng có

$$\frac{T_B}{T_E} = \frac{T_C}{T_G} = \frac{T_F}{T_I} \quad , \quad \frac{T_A}{T_E} = \frac{T_D}{T_G} = \frac{T_H}{T_I} \quad . \quad (2)$$

Do đó,

$$\begin{aligned} T_B &= \frac{T_E T_F}{T_I} = \frac{2T_1 T_2}{T_1 + T_2} \quad , \quad T_D = \frac{T_G T_H}{T_I} = \frac{2T_1 T_2}{T_1 + T_2} \quad , \\ T_C &= \frac{T_G T_F}{T_I} = \frac{2T_2^2}{T_1 + T_2} \quad , \quad T_A = \frac{T_E T_H}{T_I} = \frac{2T_1^2}{T_1 + T_2} \quad . \end{aligned} \quad (3)$$

b. Công W do khối khí thực hiện trong một chu trình bằng diện tích hình chữ nhật ABCD. Do đó

$$\begin{aligned} W &= (p_B - p_A)(V_D - V_A) = p_B V_D - p_B V_A - p_A V_D + p_A V_A \\ &= p_C V_C - p_B V_B - p_D V_D + p_A V_A = R(T_C - T_B - T_D + T_A) \\ &= 2R \frac{(T_2 - T_1)^2}{T_1 + T_2} \quad . \end{aligned} \quad (4)$$

c. Nhiệt dung mol đẳng tích C_v và đẳng áp C_p của hoạt chất là

$$C_v = \frac{5}{2}R \quad , \quad C_p = \frac{7}{2}R \quad . \quad (5)$$

Hoạt chất nhận nhiệt trong các quá trình AB và BC. Nhiệt lượng tương ứng là

$$Q_{AB} = C_v(T_B - T_A) = \frac{5}{2}R \frac{2T_1(T_2 - T_1)}{T_1 + T_2} \quad , \quad (6)$$

$$Q_{BC} = C_p(T_C - T_B) = \frac{7}{2}R \frac{2T_2(T_2 - T_1)}{T_1 + T_2} \quad . \quad (7)$$

Nhiệt lượng tổng cộng hoạt chất nhận được là

$$Q = Q_{AB} + Q_{BC} = R \frac{(7T_2 + 5T_1)(T_2 - T_1)}{T_1 + T_2} \quad . \quad (8)$$

Vậy hiệu suất lý thuyết của máy nhiệt là

$$\eta = \frac{W}{Q} = \frac{2(T_2 - T_1)}{7T_2 + 5T_1} \quad . \quad (9)$$

Bài 3. Sự mở rộng của vạch phổ nguyên tử

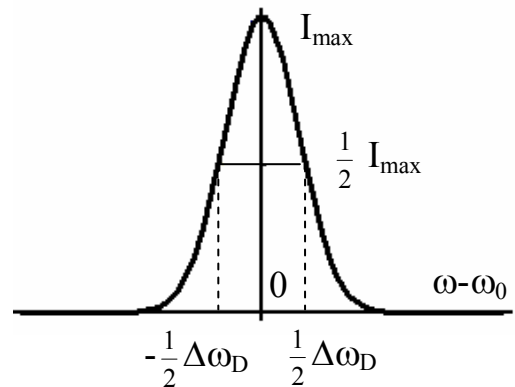
a. Để mô tả phổ bức xạ điện từ của nguyên tử, người ta có thể sử dụng mô hình dao động tử điều hòa. Trong mô hình này, nguyên tử được xem như một hạt có khối lượng m , điện tích e , dao động một chiều với lực phục hồi $-\mathbf{m}\omega_0^2\mathbf{x}$. Ở đây, ω_0 là tần số góc của bức xạ điện từ do nguyên tử phát ra.

Để mô tả độ rộng tự nhiên $\Delta\omega_{\text{TN}}$ (ví dụ, do phát xạ tự phát) của vạch phổ, ta có thể đưa vào lực ma sát tỷ lệ với vận tốc của dao động tử điều hòa, $F_{\text{ms}} = -\gamma \dot{x}$ cho $t > 0$, với γ là hằng số, $0 < \frac{\gamma}{m\omega_0} \ll 1$. Lực ma sát dẫn đến dao động tắt dần, năng lượng của dao động tử giảm theo thời gian.

Nếu năng lượng của dao động tử giảm theo thời gian theo quy luật hàm số mũ thì sau khoảng thời gian τ năng lượng của dao động tử giảm đi e lần. Khi đó τ được gọi là thời gian sống của mức năng lượng kích thích của nguyên tử.

Hãy tìm biểu thức mô tả sự suy giảm năng lượng của dao động tử theo thời gian và xác định độ rộng tự nhiên $\Delta\omega_{\text{TN}}$ của vạch phổ ứng với tần số ω_0 trong mô hình nói trên.

b. Ngoài mở rộng tự nhiên, mở rộng Doppler $\Delta\omega_D$ là sự mở rộng vạch phổ do hiệu ứng Doppler trong hệ nguyên tử hay phân tử có một phân bố vận tốc nhất định. Các hạt (nguyên tử hoặc phân tử) phát xạ mà có vận tốc khác nhau sẽ có độ dịch Doppler khác nhau, dẫn đến vạch phổ bị mở rộng. Sự mở rộng do chuyển động nhiệt của các hạt được gọi là mở rộng Doppler do nhiệt. Trong trường hợp này, độ mở rộng vạch phổ là độ rộng của phân bố phổ cường độ bức xạ ở nửa cực đại, chỉ phụ thuộc vào tần số của vạch phổ, khối lượng của hạt phát xạ và nhiệt độ của hệ hạt (xem hình vẽ).



Cho một khối khí đơn nguyên tử. Xét vạch phổ ứng với tần số ω_0 do các nguyên tử phát ra khi đứng yên. Giả sử khối khí ở nhiệt độ T và phân bố vận tốc của nguyên tử tuân theo phân bố Boltzmann

$$P(v) dv = \sqrt{\frac{m}{2\pi kT}} e^{-mv^2/(2kT)} dv \quad ,$$

trong đó m là khối lượng của nguyên tử, k là hằng số Boltzmann, v là thành phần vận tốc theo một hướng cho trước nào đó.

Hãy chứng minh độ mở rộng Doppler do nhiệt được cho bởi biểu thức

$$\Delta\omega_D = 2\frac{\omega_0}{c} \sqrt{(2\ln 2) \frac{kT}{m}} \quad .$$

Các nguyên tử chuyển động nhiệt có tốc độ nhỏ so với tốc độ ánh sáng trong chân không nên có thể bỏ qua các hiệu ứng tương đối tính.

c. Một đèn thủy ngân phát xạ 10^{18} photon trong một giây ứng với vạch phổ 2537 Å. Giả thiết rằng hơi thủy ngân trong đèn có mật độ nhỏ và ở trạng thái cân bằng nhiệt có nhiệt độ $T = 300$ K. Hãy tính độ mở rộng Doppler của vạch phổ. Công suất bức xạ của đèn ở vạch phổ này là bao nhiêu?

Cho biết khối lượng một nguyên tử thủy ngân là $m = 3,33 \times 10^{-22}$ g, hằng số Boltzmann $k = 1,38 \times 10^{-23}$ J/K, hằng số Planck $h = 6,626 \times 10^{-34}$ Js.

Hướng dẫn

Xét phương trình vi phân

$$A \frac{d^2}{dx^2} f(x) + B \frac{d}{dx} f(x) + C = 0 \quad ,$$

trong đó A , B , và C là các thông số không phụ thuộc vào biến số x . Lời giải của phương trình trên có thể tìm dưới dạng

$$f(x) \propto e^{\alpha x}$$

với α là thông số không phụ thuộc vào x và được xác định bởi các thông số A , B , C .

Bài giải

a. Phương trình chuyển động của dao động tử điều hòa khi có lực ma sát

$$m\ddot{x} = -m\omega_0^2 x - \gamma \dot{x} \quad . \quad (1)$$

Tìm nghiệm dưới dạng

$$x(t) \sim e^{\alpha t} \quad , \quad (2)$$

ta nhận được

$$x(t) = x_0 e^{-\frac{\gamma}{2m}t} e^{\pm i\omega_0 t} \quad , \quad t > 0 \quad . \quad (3)$$

Ta có thể chọn một trong hai nghiệm trên, ví dụ, nghiệm ứng với dấu +.

Năng lượng của dao động tử điều hòa W tỷ lệ với $|x|^2$, do đó

$$W = W_0 e^{-\frac{\gamma}{m}t} \quad . \quad (4)$$

Theo định nghĩa (đã nêu ở đầu bài), thời gian sống của mức năng lượng kích thích của nguyên tử là

$$\tau = \frac{m}{\gamma} \quad . \quad (5)$$

Tương ứng, theo nguyên lý bất định giữa năng lượng và thời gian, độ rộng của mức năng lượng kích thích Γ thỏa mãn

$$\Gamma\tau \geq \hbar, \quad \text{do đó} \quad \Gamma = \frac{\hbar\gamma}{m}. \quad (6)$$

Do mức năng lượng kích thích có độ rộng Γ nên vạch phổ tương ứng có độ rộng tự nhiên

$$\Delta\omega_{\text{TN}} = \frac{\Gamma}{\hbar} = \frac{\gamma}{m}. \quad (7)$$

b. Giả sử nguyên tử chuyển động với vận tốc v theo phương hướng về nguồn thu bức xạ: $v > 0$ ($v < 0$) nếu nguyên tử chuyển động về phía nguồn thu (ra xa nguồn thu). Khi đó, do hiệu ứng Doppler, nguồn thu ghi nhận bức xạ có tần số

$$\omega = \omega_0 \sqrt{\frac{1+v/c}{1-v/c}} \approx \omega_0 \left(1 + \frac{v}{c}\right). \quad (8)$$

Cường độ bức xạ có tần số trong khoảng $(\omega, \omega+d\omega)$ tỷ lệ với số nguyên tử có vận tốc trong khoảng $(v, v+dv)$. Do đó,

$$I(\omega)d\omega = I_0 e^{-\frac{mc^2}{2\omega_0^2 kT}(\omega-\omega_0)^2} d\omega, \quad (9)$$

trong đó $I(\omega)$ là phân bố phổ cường độ bức xạ, I_0 là giá trị cực đại của phân bố phổ. Ký hiệu $\Delta\omega_D$ là độ rộng Doppler. Ta có

$$I(\omega_0 - \Delta\omega_D/2) = I(\omega_0 + \Delta\omega_D/2) = I_0/2. \quad (10)$$

Từ (9) và (10) rút ra

$$\Delta\omega_D = 2 \frac{\omega_0}{c} \sqrt{(2\ln 2) \frac{kT}{m}}. \quad (11)$$

c. Biểu thức liên hệ tần số với bước sóng của bức xạ là

$$\omega = \frac{2\pi c}{\lambda}, \quad (12)$$

do đó, ứng với bước sóng $\lambda = 2537 \text{ \AA}$ là tần số $\omega = 7,43 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$. Độ rộng Doppler của vạch phổ là

$$\Delta\omega_D = 6,5 \cdot 10^9 \text{ s}^{-1}. \quad (13)$$

Công suất bức xạ A được cho bởi biểu thức

$$A = n \hbar \omega, \quad (14)$$

trong đó n là số photon phát ra trong một đơn vị thời gian. Vậy

$$A = 0,78 \text{ W}. \quad (15)$$

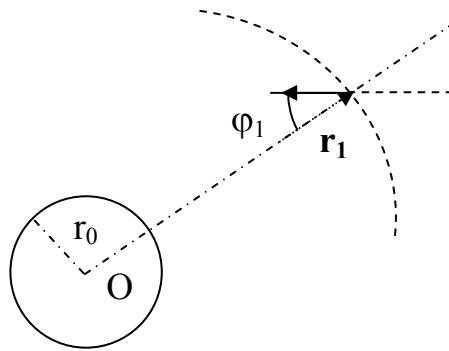
Bài 4.

Một tia laser đi vào môi trường có đối xứng cầu (xem hình vẽ). Chiết suất của môi trường thay đổi theo khoảng cách r tới tâm đối xứng O theo quy luật

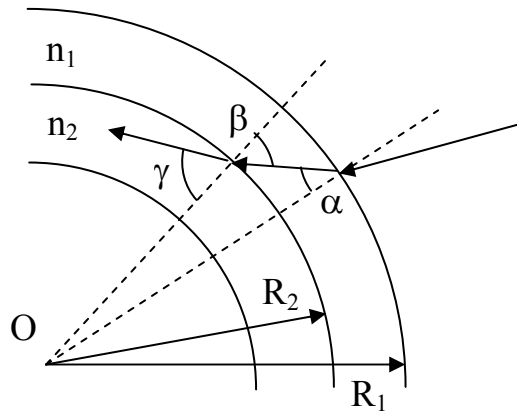
$$n(r) = \begin{cases} n_0 \frac{r}{r_0} & , \quad r \geq r_0 \\ n_0 & , \quad r < r_0 \end{cases} .$$

Đường đi của tia laser nằm trong mặt phẳng chứa tâm O . Ở khoảng cách $r_1 > r_0$, tia laser lập góc φ_1 với véc tơ bán kính $\mathbf{r}_1$ (xem hình vẽ). Tìm biểu thức xác định khoảng cách nhỏ nhất từ tâm O đến tia laser.

Tính khoảng cách nhỏ nhất đó với $n_0 = 1$, $r_0 = 30\text{cm}$, $r_1 = 40\text{cm}$, $\varphi_1 = 30^\circ$.



Bài giải



Chia môi trường thành các lớp cầu có độ dày đủ nhỏ để có thể xem môi trường trong từng lớp là đồng nhất có cùng chiết suất. Xét hai lớp kề nhau bất kỳ có chiết suất n_1 và n_2 như trên hình vẽ. Theo định luật Snell ta có

$$n_1 \sin \beta = n_2 \sin \gamma \quad . \quad (1)$$

Mặt khác, ta cũng có

$$\frac{\sin \alpha}{R_2} = \frac{\sin \beta}{R_1} \quad \rightarrow \quad \sin \beta = \frac{R_1}{R_2} \sin \alpha \quad . \quad (2)$$

Thay (2) vào (1), ta nhận được

$$n_1 R_1 \sin \alpha = n_2 R_2 \sin \gamma \quad . \quad (3)$$

Tổng quát, dọc theo đường đi của tia laser, ta có

$$r n(r) \sin \varphi(r) = \text{const} \quad . \quad (4)$$

trong đó $\varphi(r)$ là góc giữa tia laser và bán kính tại điểm tới trên mặt cầu bán kính r . Hằng số bên vế phải của (4) có thể chọn là

$$\text{const} = r_1 n(r_1) \sin \varphi(r_1) \quad . \quad (5)$$

Thay biểu thức của $n(r)$ vào (4) và (5), ta nhận được

$$\frac{n_0}{r_0} r^2 \sin \varphi(r) = \frac{n_0}{r_0} r_1^2 \sin \varphi(r_1) \quad \text{nếu } r \geq r_0 \quad , \quad (6)$$

$$r n_0 \sin \varphi(r) = \frac{n_0}{r_0} r_1^2 \sin \varphi(r_1) \quad \text{nếu } r < r_0 \quad . \quad (7)$$

Tại khoảng cách cực tiểu $r = r_{\min}$ ta có

$$d(r^2) = 0 \quad \text{hay} \quad r \cdot dr = 0 \quad . \quad (8)$$

Điều này có nghĩa hướng truyền của tia laser vuông góc với bán kính r , tức là $\varphi(r_{\min}) = 90^\circ$. Do đó

$$\frac{n_0}{r_0} r_{\min}^2 = \frac{n_0}{r_0} r_1^2 \sin \varphi(r_1) \quad \text{nếu } r_{\min} \geq r_0 \quad , \quad (9)$$

$$r_{\min} n_0 = \frac{n_0}{r_0} r_1^2 \sin \varphi(r_1) \quad \text{nếu } r_{\min} < r_0 \quad . \quad (10)$$

Suy ra

$$r_{\min} = r_1 \sqrt{\sin \varphi_1} \quad \text{nếu } r_1 \sqrt{\sin \varphi_1} \geq r_0 \quad , \quad (11)$$

$$r_{\min} = \frac{r_1^2}{r_0} \sin \varphi_1 \quad \text{nếu } r_1 \sqrt{\sin \varphi_1} < r_0 \quad . \quad (12)$$

(Nếu $r_1 \sqrt{\sin \varphi_1} < r_0$, tức là $\sin \varphi_1 < \left(\frac{r_0}{r_1}\right)^2$, góc $\varphi(r_0) \equiv \varphi_0$ giữa hướng truyền của tia laser với bán kính tại khoảng cách r_0 nhỏ hơn 90° . Tia laser sẽ đi thẳng trong miền bán kính r_0).

Với các giá trị số đã cho, ta có

$$\sin \varphi_1 = \frac{1}{2} < \left(\frac{r_0}{r_1}\right)^2 = \frac{9}{16} \quad .$$

Do đó $r_{\min}$ được xác định bởi biểu thức (12), $r_{\min} \approx 26,7 \text{ cm}$.

Olympic Vật lý sinh viên Toàn quốc lần thứ XVIII

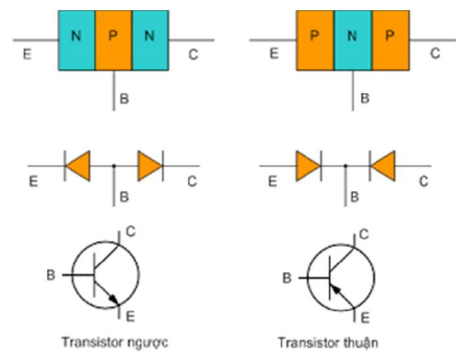
Đề thi THỰC NGHIỆM

(Thời gian làm bài 180 phút)

XÁC ĐỊNH ĐIỆN TÍCH ĐIỆN TỬ VÀ ĐẶC TRƯNG LÀM VIỆC CỦA TRANZITOR

I. Cơ sở lý thuyết

Cấu trúc tranzitor lưỡng cực được phát minh bởi William Shockley tại phòng thí nghiệm Bell vào năm 1948. Một năm sau, John Bardeen và Walter Brattain đã lần đầu tiên ứng dụng cấu trúc và chế tạo thành tranzitor (Họ được trao giải Nobel về vật lý năm 1956). Cấu trúc tranzitor bao gồm ba lớp bán dẫn pha tạp, lớp giữa mỏng và được pha tạp trái dấu với hai lớp bên ngoài. Về phương diện cấu tạo, transistor tương đương với hai điốt đầu ngược chiều nhau. Do kiểu sắp xếp các lớp pha tạp nên hình thành hai loại tranzitor là tranzitor thuận PNP và tranzitor nghịch NPN có ký hiệu như hình vẽ. Ba lớp bán dẫn được nối ra thành ba cực. Lớp giữa rất mỏng có nồng độ tạp chất thấp được gọi là cực gốc (ký hiệu là B - Base). Hai lớp bán dẫn bên ngoài được nối ra thành cực phát (Emitter) viết tắt là E, và cực thu hay cực góp (Collector) viết tắt là C. Vùng bán dẫn E và C có cùng loại bán dẫn (loại N hay P) nhưng có kích thước và nồng độ tạp chất khác nhau nên không hoán vị cho nhau được. Tiếp giáp P-N giữa cực phát (E) và cực gốc (B) gọi là J_E , giữa cực góp (C) và cực gốc (B) là J_C . Khi J_E phân cực thuận, J_C phân cực ngược thì tranzitor hoạt động ở miền tích cực và thường ứng dụng để khuếch đại tín hiệu.



Theo lý thuyết bán dẫn về chuyển tiếp P-N khi phân cực thuận (cực dương, dòng điện tức thời I chạy qua lớp chuyển tiếp P-N quan hệ với điện áp tức thời U đặt trên hai đầu chuyển tiếp

dạng $I = I_0(e^{\frac{eU}{kT}} - 1)$ với T là nhiệt độ tuyệt đối tại mỗi P-N, $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ là hằng số Boltzmann; I_0 là dòng điện bão hòa khi chuyển tiếp P-N phân cực ngược; e là điện tích điện tử. Trong thí nghiệm này, bằng việc khảo sát đặc trưng điện của lớp chuyển tiếp PN cũng như đặc trưng của tranzitor ta có thể xác định được các thông số làm việc cơ bản của tranzitor cũng như xác định được độ lớn điện tích của điện tử nếu coi như đã biết trước hằng số Boltzmann.

II. Dụng cụ thí nghiệm

- Hộp thí nghiệm có sơ đồ đấu linh kiện và chốt cắm như hình vẽ.
- 01 đồng hồ đo điện sử dụng như là vôn kế có kèm sẵn dây đo.
- 02 điện trở R_1 và R_2 đã biết trước giá trị
- 03 dây nối.

Lưu ý:

- *Trước khi bật nguồn điện cần kiểm tra lại chân cắm đồng hồ và thang đo.*
- *Khi đo thể ở thang đo nhỏ cần phải cẩn trọng tránh gây hư hỏng đồng hồ.*
- *Không bao giờ chuyển thang đo khi đang có điện ở đầu đo.*

III. Yêu cầu thí nghiệm

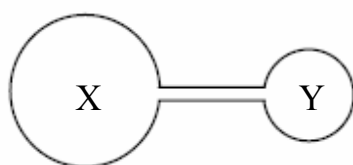
1. Khảo sát đặc trưng I-V của lớp chuyển tiếp p-n giữa chân B và C của tranzitor để xác định loại tranzitor. (5 điểm)
2. Xác định giá trị điện tích điện tử (20 điểm)
3. Xác định hệ số khuếch đại và giới hạn làm việc tuyến tính của tranzitor. (5 điểm)

OLYMPIC VẬT LÝ SINH VIÊN TOÀN QUỐC LẦN THỨ XIX
ĐẠI HỌC DUY TÂN – 2016

CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM

Câu 1

Hai bình chứa khí X và Y được nối với nhau bởi một ống nhỏ. Thể tích bình X gấp hai lần thể tích bình Y. Các bình này chứa cùng một chất khí lý tưởng và ở trạng thái ổn định. Nhiệt độ trong bình X là 200 K, trong bình Y là 300 K. Bình X có n mol khí. Hỏi lượng khí trong bình Y là bao nhiêu?



$T_X = 200 \text{ K} \quad T_Y = 300 \text{ K}$

- A. $n/3$ B. $n/2$ C. n D. $2n$

Đáp án: A

Khí trong hai bình ở trạng thái ổn định nên áp suất ở hai bình bằng nhau. Ta có

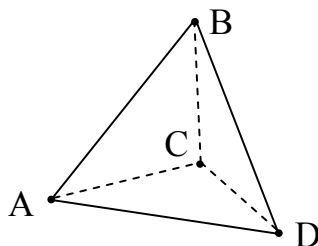
$$PV_X = n_X RT_X \quad , \quad PV_Y = n_Y RT_Y \quad .$$

Chia hai phương trình cho nhau, rút ra

$$\frac{V_X}{V_Y} = \frac{n_X}{n_Y} \frac{T_X}{T_Y} \quad \text{hay} \quad n_Y = n_X \frac{V_Y}{V_X} \frac{T_X}{T_Y} = \frac{1}{3} n \quad .$$

Câu 2

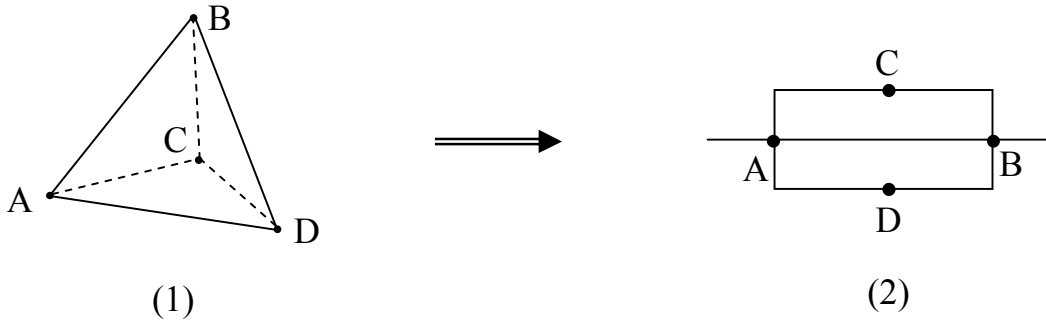
Sáu đoạn dây dẫn giống hệt nhau, mỗi đoạn dây có điện trở $R = 8 \, \Omega$. Các đoạn dây nối với nhau tạo thành các cạnh của một hình tứ diện đều. Nếu nối hai đỉnh vào nguồn điện một chiều thì điện trở của cấu hình này giữa hai đỉnh đó là bao nhiêu ?



- A. $48 \, \Omega$ B. $16 \, \Omega$ C. $8 \, \Omega$ D. $4 \, \Omega$

Đáp án: D

Giả sử nối hai đỉnh A và B vào nguồn điện. Do đối xứng, điện thế của hai đỉnh C và D bằng nhau nên không có dòng điện chạy trên đoạn mạch CD. Mạch điện đã cho (1) tương đương với mạch điện (2). Dễ dàng tính được điện trở của mạch đã cho là $4\ \Omega$.



Câu 3

Cực đại bậc cao nhất xuất hiện ở góc bao nhiêu nếu dùng ánh sáng bước sóng 450 nm chiếu vào cách tử nhiễu xạ có 600 vạch trên 1 mm ?

- A. 27° B. 54° C. 68° D. 85°

Đáp án: B

Cực đại bậc m xuất hiện ở góc θ thỏa mãn điều kiện

$$\sin \theta = m \frac{\lambda}{d} = m \lambda n \leq 1 \quad ,$$

trong đó n là số vạch trên một đơn vị độ dài của cách tử. Thay giá trị của λ và n , ta có $m \leq 1/0,27 = 3,7$. Vậy bậc cao nhất của cực đại là $m=3$. Do đó, cực đại bậc cao nhất xuất hiện ở góc θ thỏa mãn

$$\sin \theta = 3 \cdot 0,27 = 0,81 \quad \Rightarrow \quad \theta = 54^\circ \quad .$$

Câu 4

Hai mẫu đồng vị phóng xạ X và Y có cùng độ phóng xạ A_0 ở thời điểm $t=0$. Đồng vị X có chu kỳ bán rã 12 giờ, còn Y là 8 giờ. Hỏi độ phóng xạ của hỗn hợp hai đồng vị này tại thời điểm $t=24$ giờ là bao nhiêu?

- A. $\frac{1}{12}A_0$ B. $\frac{3}{16}A_0$ C. $\frac{1}{6}A_0$ D. $\frac{3}{8}A_0$

Đáp án: D

Độ phóng xạ của mẫu phóng xạ ở thời điểm t được cho bởi biểu thức

$A(t) = A_0 e^{-\frac{t}{t_{1/2}} \ln 2}$, trong đó $t_{1/2}$ là chu kỳ bán rã của chất phóng xạ. Do đó, sau 24 giờ, độ phóng xạ của các mẫu là

$$A_X = A_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{24}{12}} = \frac{1}{4} A_0 \quad \text{đối với đồng vị X,}$$

$$A_Y = A_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{24}{8}} = \frac{1}{8} A_0 \quad \text{đối với đồng vị Y.}$$

Độ phóng xạ của hỗn hợp là

$$A = A_X + A_Y = \frac{3}{8} A_0.$$

Câu 5

Một hạt khối lượng m chuyển động trong thế một chiều $V(x) = -\alpha x^2 + \beta x^4$, trong đó α và β là các hằng số dương. Tần số góc của dao động nhỏ quanh vị trí cân bằng bên là

A. $\sqrt{\alpha/(m\beta)}$ B. $\sqrt{\alpha/(2m)}$ C. $2\sqrt{\alpha/m}$ D. $\sqrt{\alpha/m}$

Đáp án: C

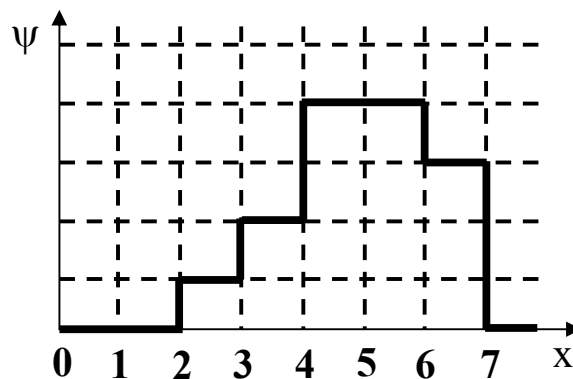
Vị trí cân bằng được xác định từ phương trình $\frac{dV}{dx} = 0$. Vị trí cân bằng bên có tọa độ

$x_{\pm} = \pm \sqrt{\frac{\alpha}{2\beta}}$. Vì $V(x) = V(-x)$ nên hệ không đổi khi thực hiện biến đổi $x \rightarrow -x$.

Do đó chỉ cần xét dao động nhỏ quanh vị trí x_+ . Đặt $x = x_+ + \xi$. Phương trình chuyển động cho dao động nhỏ quanh vị trí x_+ có dạng $\ddot{\xi} + \frac{4\alpha}{m}\xi = 0$. Suy ra tần số góc của dao động nhỏ là $\omega = 2\sqrt{\alpha/m}$.

Câu 6

Trên hình vẽ là đồ thị hàm sóng của một hạt vi mô chuyển động một chiều ($\psi(x) = 0$ cho $x < 2$ hoặc $x > 7$). Xác suất tìm thấy hạt trong miền $3 < x < 5$ là



- A. 3/7 B. 9/11 C. 2/5 D. 10/23

Đáp án: D

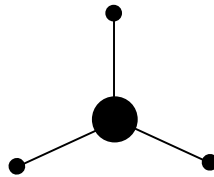
Xác suất tìm thấy hạt trong miền V là $W = \frac{\int_V |\Psi(x)|^2 dx}{\int_{-\infty}^{\infty} |\Psi(x)|^2 dx}$. Do đó, xác suất tìm thấy

hạt trong miền $3 < x < 5$ là

$$W = \frac{2^2 \times 1 + 4^2 \times 1}{1^2 \times 1 + 2^2 \times 1 + 4^2 \times 2 + 3^2 \times 1} = \frac{20}{46} = \frac{10}{23}.$$

Câu 7

Cho khối khí lý tưởng gồm N phân tử phẳng (xem hình vẽ)



Nhiệt dung của khối khí là

- A. $4,5Nk_B$ B. $6Nk_B$ C. $9Nk_B$ D. $12Nk_B$

Đáp án: C

Năng lượng của khối khí

$$E = N \frac{1}{2} k_B T (s_t + s_r + 2s_v),$$

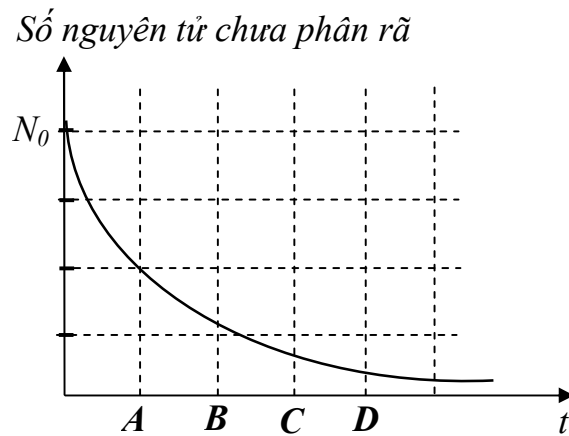
trong đó s_t , s_r , và s_v lần lượt là bậc tự do ứng với chuyển động tịnh tiến, chuyển động quay của phân tử và dao động của các nguyên tử tạo thành phân tử. Do đó, nhiệt dung của khối khí cho bởi biểu thức

$$C = \frac{\partial E}{\partial T} = \frac{1}{2} N k_B (s_t + s_r + 2s_v).$$

Đối với phân tử phẳng $s_t = 3$, $s_r = 3$, và $s_v = 6$. Vậy nhiệt dung của khối khí phân tử phẳng là $C = 9Nk_B$.

Câu 8

Đồ thị ở hình bên mô tả sự phân rã của một mẫu carbon ^{14}C ban đầu có N_0 nguyên tử. Điểm nào trên trục thời gian t có thể biểu diễn thời gian bán rã của ^{14}C ?



- A. *A* B. *B* C. *C* D. *D*

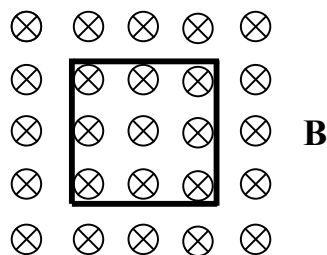
Đáp án: A

Sau khoảng thời gian bán rã, số nguyên tử chưa phân rã bằng một nửa số nguyên tử ban đầu. Điểm *A* tương ứng với điều đó.

Câu 9

Một vòng dây kim loại hình vuông đặt trong từ trường đồng nhất. Mặt phẳng vòng dây vuông góc với từ trường như trên hình vẽ. Nếu dạng của vòng dây biến đổi dần dần thành hình tròn trong cùng mặt phẳng, khi đó

- A. Không có dòng điện trong vòng dây.
 B. Dòng điện trong vòng dây ngược chiều kim đồng hồ.
 C. Dòng điện trong vòng dây cùng chiều kim đồng hồ.
 D. Không xác định được chiều dòng điện.



Đáp án: B

Hình tròn có diện tích lớn hơn hình vuông có cùng chu vi. Vì vậy, trong quá trình dạng vòng dây biến đổi, từ thông qua diện tích vòng dây tăng lên. Trong vòng dây xuất hiện dòng cảm ứng. Theo định luật Lenz, từ trường gây bởi dòng cảm ứng có chiều ngược với từ trường ngoài, tức là hướng từ trong ra ngoài. Do đó, dòng cảm ứng có chiều ngược chiều kim đồng hồ.

Câu 10

Proton có điện tích e , khối lượng m , được gia tốc bởi hiệu điện thế V từ trạng thái đứng yên. Bước sóng de Broglie của proton (không tương đối tính) là

- A. $\frac{h}{\sqrt{emV}}$ B. $\frac{h}{\sqrt{2emV}}$ C. $\frac{h}{2\sqrt{emV}}$ D. $\frac{h}{2emV}$

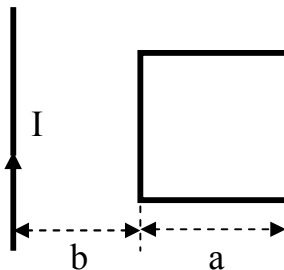
trong đó h là hằng số Planck.

Đáp án: B

Theo thuyết lượng tử, bước sóng de Broglie của một hạt là $\lambda = h/p$ với p là động lượng của hạt. Đi qua hiệu điện thế V , proton nhận được năng lượng $E=eV$. Do đó động lượng của proton là $p = \sqrt{2meV} \rightarrow$ đáp án **B**.

Câu 11

Một dây dẫn thẳng dài vô hạn có dòng điện cường độ I được đặt cách khung dây dẫn hình vuông có cạnh a một khoảng b . Dây dẫn nằm trong mặt phẳng của khung dây và song song với một cạnh khung dây (xem hình vẽ). Điện trở của khung là R . Cường độ dòng điện trong dây thẳng giảm dần đến 0 trong thời gian t . Điện tích chạy qua tiết diện ngang của dây dẫn tại một điểm trên khung dây trong thời gian t là



- A. $\frac{\mu_0 Ib}{2\pi} \ln \frac{b+a}{b} t$ B. $\frac{\mu_0 Ia}{2\pi R} \ln \frac{b+a}{b} t$
 C. $\frac{\mu_0 Ia}{2\pi R} \ln \frac{b+a}{b}$ D. $\frac{\mu_0 Ib}{2\pi R} \ln \frac{b+a}{b} t$

Đáp án: C

Nếu cường độ dòng điện trong dây dẫn thẳng là I thì từ thông qua điện tích giới hạn bởi khung dây là

$$\phi = \frac{\mu_0 Ia}{2\pi} \ln \frac{a+b}{b}, \text{ do đó } d\phi = dI \frac{\mu_0 a}{2\pi} \ln \frac{a+b}{b}.$$

Điện lượng qua tiết diện ngang của dây trong thời gian t được cho bởi biểu thức

$$Q = \int_0^t Idt = \int_0^t \frac{1}{R} \left| \frac{d\phi}{dt} \right| dt = \frac{\mu_0 a}{2\pi R} \ln \frac{a+b}{b} \int_0^I dI = \frac{\mu_0 a I}{2\pi R} \ln \frac{a+b}{b} .$$

Câu 12

Một sợi tóc nằm ở rìa giữa hai bản thủy tinh phẳng. Khi chiếu hệ này bằng ánh sáng có bước sóng $\lambda=600$ nm, người ta quan sát thấy có 121 vạch tối tính từ vị trí hai bản này tiếp xúc với nhau. Hỏi sợi tóc dày bao nhiêu ?

- A. $1,6 \cdot 10^{-5}$ m B. $3,6 \cdot 10^{-5}$ m C. $1,2 \cdot 10^{-4}$ m D. $3,6 \cdot 10^{-4}$ m

Đáp án: B

Ký hiệu y là khoảng cách hai bản thủy tinh tại vị trí có vạch sáng, x và L lần lượt là khoảng cách từ vạch sáng và từ sợi tóc đến vị trí hai bản tiếp xúc nhau, d là độ dày của sợi tóc, ta có

$$2y = \left(k + \frac{1}{2} \right) \lambda, \quad k=0, 1, 2, 3, \dots$$

$$x = \frac{L}{d} y = \frac{L}{d} \left(k + \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda}{2} .$$

Khoảng cách giữa hai vạch sáng là

$$\Delta x = \frac{L}{d} \frac{\lambda}{2}, \quad \text{do đó} \quad d = \frac{L}{\Delta x} \frac{\lambda}{2} .$$

Vì vị trí tiếp xúc là vạch tối nên số vạch sáng $n \equiv \frac{L}{\Delta x} = 120$. Thay giá trị số, ta nhận được $d=3,6 \cdot 10^{-5}$ m.

Câu 13

Positronium là hệ gồm electron và positron (phản hạt của electron) liên kết với nhau. Năng lượng trạng thái cơ bản của positronium vào khoảng

- A. -27,2 eV B. -13,6 eV C. -6,8 eV D. -3,4 eV

Đáp án: C

Positronium có cấu trúc giống như nguyên tử hydro. Các mức năng lượng của nó được cho bởi biểu thức

$$E_n = -\frac{\mu e^4}{32\pi^2 \hbar^2 \epsilon_0^2} \frac{1}{n^2},$$

trong đó μ là khối lượng rút gọn của electron và positron, $\mu = m_e/2$. Như vậy, các mức năng lượng của positronium bằng $1/2$ mức năng lượng tương ứng của hydro. Suy ra năng lượng trạng thái cơ bản của positronium là -6,8 eV.

Câu 14

Một khối khí lý tưởng được chứa trong ống nghiệm có đường kính 5 mm. Khối khí nằm trong phần có chiều cao L_1 ở phía đáy ống và được ngăn cách với không khí bên trên bởi một giọt thủy ngân có khối lượng $m = 2$ g. Nếu quay ngược ống rất nhanh sao cho giọt thủy ngân vẫn giữa khối khí ở phía trên thì khối khí chiếm phần ống có chiều cao L_2 . Tỷ số L_2/L_1 là bao nhiêu nếu áp suất khí quyển là 10^5 Pa ?

- A. 1,01 B. 1,02 C. 1,03 D. 1,04

Đáp án: B

Ký hiệu V_1 và V_2 tương ứng là thể tích phần ống chứa khối khí trước và sau khi lật ngược ống, S là tiết diện của ống, g là gia tốc trọng trường. Vì lật ngược ống rất nhanh nên có thể giả thiết nhiệt độ của khối khí không đổi khi lật ngược ống. Ta có

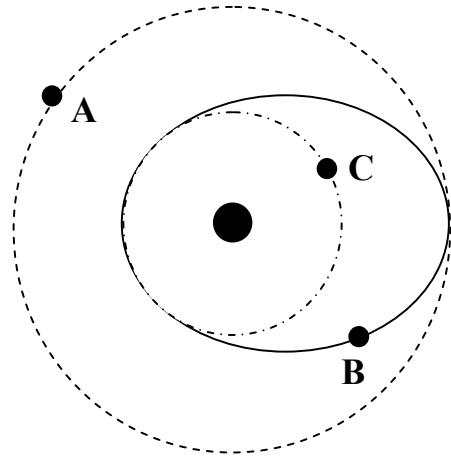
$$V_1 \left(p + \frac{mg}{S} \right) = V_2 \left(p - \frac{mg}{S} \right) \quad \text{hay} \quad \frac{L_2}{L_1} = \frac{p + mg/S}{p - mg/S},$$

trong đó p là áp suất khí quyển. Thay giá trị số của các đại lượng, ta nhận được $L_2/L_1 = 1,02$.

Câu 15

Ba vệ tinh A, B và C có cùng khối lượng chuyển động trong cùng mặt phẳng xung quanh một hành tinh như trên hình vẽ. Quỹ đạo của vệ tinh A và C là đường tròn, còn quỹ đạo của vệ tinh B là đường elip. Mô men động lượng của các vệ tinh đối với hành tinh có độ lớn lần lượt là L_A , L_B và L_C . Kết luận nào dưới đây về mô men động lượng của các vệ tinh là đúng

- A. $L_A > L_B > L_C$
 B. $L_C > L_B > L_A$
 C. $L_B > L_A > L_C$
 D. Không xác định được vì thiếu thông tin.

**Đáp án: A**

Theo định luật Kepler 2, ta có

$$L = 2m \frac{dS}{dt} \quad \Rightarrow \quad \int_0^T L dt = 2 \int_0^T m dS, \quad \text{hay} \quad LT = 2mS.$$

Ở đây, m là khối lượng của vệ tinh, dS là diện tích véc tơ bán kính quét trong thời gian dt , T là chu kỳ của chuyển động của vệ tinh quanh hành tinh, S là diện tích giới hạn bởi quỹ đạo của vệ tinh. Theo định luật Kepler 3, $T \propto R^{3/2}$ với $2R$ là độ

dài trục lớn của quỹ đạo hình elip của vệ tinh. Mặt khác, $S_{A,C} = \pi R_{A,C}^2$, $S_B = \pi R_B R'_B$, trong đó R'_B là nửa độ dài trục nhỏ của quỹ đạo elip của vệ tinh B. Do đó

$$L_A : L_B : L_C = \frac{S_A}{T_A} : \frac{S_B}{T_B} : \frac{S_C}{T_C} = \sqrt{R_A} : \frac{R'_B}{\sqrt{R_B}} : \sqrt{R_C}.$$

Theo hình vẽ, ta có (f_B là tiêu cự của quỹ đạo vệ tinh B)

$$\begin{aligned} \frac{R_B'^2}{R_B^2} &= 1 - \frac{f_B^2}{R_B^2} = 1 - \frac{(R_B - R_C)^2}{R_B^2} = 1 - \left(1 - \frac{R_C}{R_B}\right)^2 = \frac{R_C}{R_B} \left(2 - \frac{R_C}{R_B}\right) > \frac{R_C}{R_B} \\ \Rightarrow \sqrt{R_A} &> \sqrt{R_B} > \left(\sqrt{R_B} \frac{R'_B}{R_B} = \frac{R'_B}{\sqrt{R_B}}\right) > \left(\sqrt{R_B} \sqrt{\frac{R_C}{R_B}} = \sqrt{R_C}\right). \end{aligned}$$

Do đó, $L_A > L_B > L_C$.

Câu 16

Xét bài toán tương đối tính:

Một người quan sát ở trạng thái dừng (đứng yên hoặc chuyển động thẳng đều) nhìn một toa xe chuyển động đều. Toa xe có một gương đặt ở thành xe phía trước, thành xe phía sau để mở. Người này phát một chớp sáng về phía xe từ phía sau và đo khoảng thời gian chớp sáng đi từ thành phía sau đến gương rồi phản xạ trở lại đến thành phía sau. Một hành khách trên toa xe cũng đo khoảng thời gian đi về một vòng như vậy của chớp sáng. Hãy so sánh khoảng thời gian đo được bởi hai người.

- A. Người quan sát đo được khoảng thời gian dài hơn.
- B. Hai người đo được khoảng thời gian bằng nhau.
- C. Người quan sát đo được khoảng thời gian ngắn hơn.
- D. Không xác định được vì tùy theo hệ quy chiếu của người quan sát.

Đáp án: A

Khoảng thời gian đo trong hệ quy chiếu riêng của toa xe ngắn hơn khoảng thời gian đo trong mọi hệ quy chiếu quán tính khác với hệ quy chiếu riêng đó (hiện tượng giãn thời gian). Vì vậy, người quan sát đo được khoảng thời gian dài hơn hành khách đứng yên trên toa xe.

Câu 17

Tốc độ lớn nhất của electron quang điện phát ra từ bề mặt có công thoát 5,00 eV khi được chiếu bởi bức xạ cực tím có bước sóng 200 nm là bao nhiêu? Cho biết khối lượng electron $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ kg, $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Js, $1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19}$ J.

- A. 912 km/s B. 756 km/s C. 653 km/s D. 450 km/s

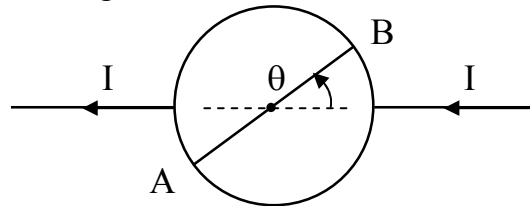
Đáp án: C

Năng lượng của photon ứng với bức xạ có bước sóng λ là $E=hc/\lambda$. Ký hiệu A là công thoát của vật liệu đã cho thì tốc độ lớn nhất của electron quang điện là

$v = \sqrt{2m_e(E - A)}$. Thay giá trị số của các đại lượng, ta nhận được $v \approx 653 \text{ km/s}$.

Câu 18

Cho mạch điện gồm đường tròn bán kính R và đường kính AB như trên hình vẽ. Dây dẫn đồng nhất có điện trở trên một đơn vị độ dài là ρ . Cường độ dòng điện qua mạch điện là I . Biểu thức nào dưới đây mô tả sự phụ thuộc của cường độ dòng điện qua đoạn dây dẫn AB vào góc θ



A. 0

B. $\frac{\pi - \theta}{\pi + 2} I$

C. $\frac{\pi - \theta}{\pi + 4} I$

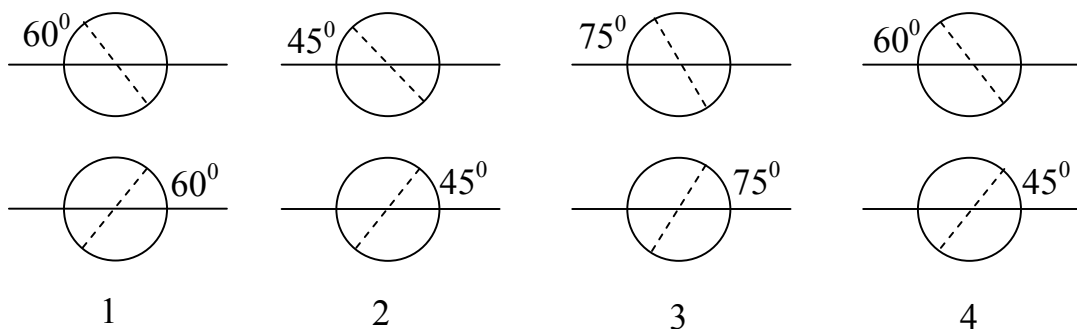
D. $\frac{\pi - 2\theta}{\pi + 4} I$

Đáp án: D

Dễ dàng thấy, nếu $\theta = \frac{\pi}{2}$, không có dòng điện đi qua dây dẫn AB . Chỉ có đáp án D thỏa mãn yêu cầu đó.

Câu 19

Trên hình vẽ là sơ đồ mô tả 4 cặp kính phân cực, trong đó hướng phân cực của kính được biểu diễn bởi đường đứt nét. Các kính phân cực trong mỗi cặp được sắp cái nọ sau cái kia và người ta chiếu ánh sáng không phân cực qua từng cặp kính. Cường độ ánh sáng tới như nhau đối với tất cả các cặp kính phân cực. Hãy sắp xếp các cặp kính theo thứ tự cường độ ánh sáng truyền qua giảm dần.



- A. 4, 2, 1, 3
- B. 3, 1, 2, 4
- C. 3, 1, 4, 2
- D. 4, 2, 3, 1

Đáp án: C

Ký hiệu θ_i là góc giữa hướng phân cực của hai kính thuộc cặp kính thứ i . Theo định luật Malus, cường độ ánh sáng truyền qua cặp kính phân cực thứ i tỷ lệ với $\cos^2\theta_i$. Ta có $(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) = (60^\circ, 90^\circ, 30^\circ, 75^\circ)$. Do đó, tỷ số giữa cường độ ánh sáng truyền qua các cặp kính là

$$I_1 : I_2 : I_3 : I_4 = \cos^2(60^\circ) : \cos^2(90^\circ) : \cos^2(30^\circ) : \cos^2(75^\circ) \\ = \frac{1}{4} : 0 : \frac{3}{4} : \frac{67}{1000} \rightarrow \text{Đáp án C}$$

Câu 20

Một electron (khối lượng $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ kg) có động lượng $p = 3,64 \cdot 10^{-22}$ kg·m/s. Tốc độ của electron này là

- A. 0,80 c
- B. 0,65 c
- C. 0,46 c
- D. 0,24 c

Đáp án: A

Động lượng của electron $p = \frac{m_e c}{\sqrt{1 - \beta^2}} \beta$ với $\beta = \frac{v}{c}$. Suy ra $\beta = \frac{1}{\sqrt{m_e^2 + \left(\frac{p}{c}\right)^2}} \frac{p}{c}$.

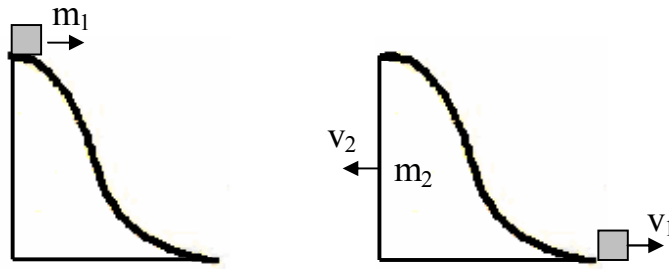
Thay giá trị số nhận được $v = 0,80 c$.

CÂU DỰ BỊ

Câu 1DB

Một cục gỗ nhỏ có khối lượng m_1 được thả cho trượt không ma sát và không có vận tốc ban đầu từ đỉnh một cái nêm cong khối lượng m_2 (xem hình vẽ). Nêm nằm trên mặt ngang không ma sát. Khi cục gỗ rời khỏi nêm thì vận tốc của nó là $v_1 = 4$ m/s hướng sang phải. Nếu khối lượng của cục gỗ tăng gấp đôi, tức là $2m_1$, thì tốc độ của nó khi rời khỏi nêm

- A. Lớn hơn 4 m/s.
- B. Bằng 4 m/s.
- C. Nhỏ hơn 4 m/s.
- D. Không xác định được vì thiếu thông tin.



Đáp án: C

Theo định luật bảo toàn năng lượng và bảo toàn động lượng theo phương nằm ngang, ta có

$$m_1gh = \frac{1}{2}(m_1v_1^2 + m_2v_2^2) \quad \text{hay} \quad 2gh = v_1^2 + \frac{m_2}{m_1}v_2^2, \quad$$

$$m_2v_2 = m_1v_1 \quad \text{hay} \quad v_2 = \frac{m_1}{m_2}v_1.$$

Do đó,

$$v_1^2 = \frac{2ghm_2}{m_1 + m_2}.$$

Nếu m_1 tăng thì v_1 giảm $\rightarrow$ đáp án C.

Câu 2DB

Một nguồn hạt nhân phóng xạ có chu kỳ bán rã là 2 giờ, độ phóng xạ lớn hơn 64 lần ngưỡng an toàn cho phép. Hỏi phải sau thời gian tối thiểu là bao nhiêu để có thể làm việc an toàn với nguồn phóng xạ này ?

- A. 6 giờ B. 12 giờ C. 24 giờ D. 30 giờ

Đáp án: B

Độ phóng xạ của nguồn tại thời điểm t cho bởi biểu thức

$$H(t) = H_0 e^{-t \frac{\ln 2}{T}},$$

trong đó H_0 là độ phóng xạ ban đầu, T là thời gian bán rã. Do đó

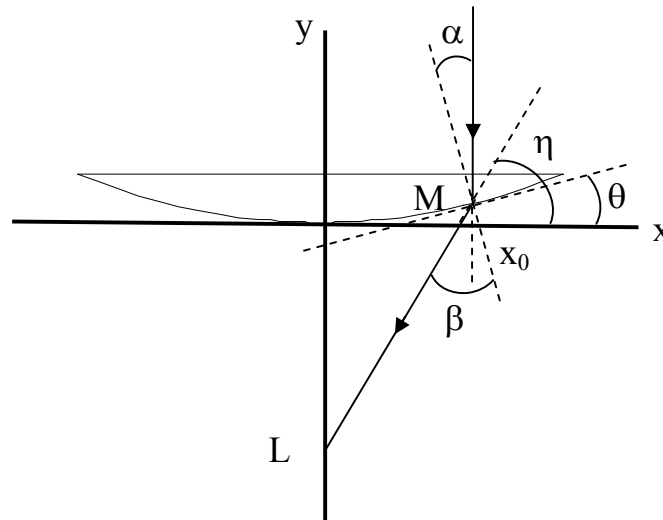
$$t = \frac{T}{\ln 2} \ln \frac{H_0}{H} = \frac{T}{\ln 2} \ln 64 = 6T = 12 \text{ giờ}.$$

PHẦN BÀI TẬP

Câu 1

Một thấu kính lồi làm từ vật liệu có chiết suất $n > 1$, một mặt là mặt phẳng, mặt kia được tạo bằng cách quay đường parabol $y=kx^2$ quanh trục của nó (xem hình vẽ). Ký hiệu R là bán kính của đường viền mặt thấu kính phẳng. Giả sử độ dày của thấu kính rất nhỏ so với bán kính R , tức là $kR^2 \ll R$. Hãy tính tiêu cự của thấu kính.

Bài giải



Theo giả thiết của đề bài, ta có

$$kR \ll 1. \quad (1)$$

Chọn hệ trục tọa độ sao cho trục x tiếp xúc với mặt cong của thấu kính tại đỉnh thấu kính, trục y đi qua đỉnh. Xét tia sáng đi tới thấu kính trong mặt phẳng xy , song song trục y và cách trục y khoảng $x_0 < R$. Điểm tới M của tia này tại mặt cong có tọa độ là (x_0, kx_0^2) . Tiếp tuyến với mặt cong tại M có hệ số góc

$$\tan \theta = y'(M) = 2kx_0 \ll 1. \quad (2)$$

Ký hiệu góc giữa tia tới và pháp tuyến của mặt cong tại điểm M là α , góc khúc xạ là β . Ta có

$$\alpha = \theta, \quad \sin \beta = n \sin \alpha.$$

Góc lập bởi tia khúc xạ và trục x là

$$\eta = \theta + \left(\frac{\pi}{2} - \beta \right). \quad (3)$$

Hệ số góc của tia khúc xạ là

$$\tan \eta = \tan \left(\theta + \frac{\pi}{2} - \beta \right) = \cot(\beta - \theta) = \frac{1 + \tan \beta \tan \theta}{\tan \beta - \tan \theta} . \quad (4)$$

Phương trình của tia khúc xạ là

$$\frac{y - kx_0^2}{x - x_0} = \frac{1 + \tan \beta \tan \theta}{\tan \beta - \tan \theta} . \quad (5)$$

Giao điểm của tia khúc xạ với trục y có tọa độ (0, L). Thay vào phương trình trên, ta được

$$\frac{L - kx_0^2}{-x_0} = \frac{1 + \tan \beta \tan \theta}{\tan \beta - \tan \theta} , \quad (6)$$

hay

$$L = kx_0^2 - x_0 \frac{1 + \tan \beta \tan \theta}{\tan \beta - \tan \theta} = x_0 \left(\frac{1}{2} \tan \theta - \frac{1 + \tan \beta \tan \theta}{\tan \beta - \tan \theta} \right) . \quad (7)$$

Từ định luật khúc xạ rút ra

$$\tan \beta = \frac{n \tan \theta}{\sqrt{1 + (1 - n^2) \tan^2 \theta}} \approx n \tan \theta . \quad (8)$$

Ở đây ta đã bỏ qua số hạng nhỏ chứa $\tan^2 \theta$. Do đó

$$L = x_0 \left(\frac{1}{2} \tan \theta - \frac{1 + n \tan^2 \theta}{(n - 1) \tan \theta} \right) \approx -\frac{x_0}{(n - 1) \tan \theta} = -\frac{1}{2k(n - 1)} . \quad (9)$$

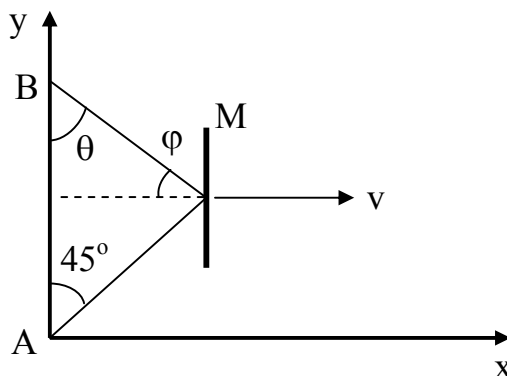
Vì L không phụ thuộc vào x_0 nên chùm tia sáng song song với trục của thấu kính, sau khi đi qua thấu kính, sẽ hội tụ tại một điểm. Vậy tiêu cự của thấu kính là

$$f = \frac{1}{2k(n - 1)} . \quad (10)$$

Câu 2

Một laser đặt tại điểm A phát ra ánh sáng bước sóng 500 nm theo hướng lập một góc $\alpha = 45^\circ$ so với trục y trong mặt phẳng xy. Tia sáng đập vào gương phẳng M chuyển động với vận tốc $v = c/5$ theo chiều trục x và bị phản xạ đến người quan sát B đứng yên trên trục y. Gương M luôn luôn vuông góc với trục x. Hỏi

- Góc θ bằng bao nhiêu (xem hình vẽ)?
- Người B quan sát được ánh sáng có bước sóng bao nhiêu?



Gợi ý: Theo thuyết tương đối hẹp, khi chuyển từ hệ quy chiếu quán tính này sang hệ quy chiếu quán tính khác, các đại lượng $\left(\frac{E}{c}, \vec{p}\right)$ biến đổi giống như các đại lượng $(ct, \vec{r})$, tức là

$$x' = \gamma(x - \beta ct) \quad , \quad y' = y \quad , \quad z' = z \quad , \quad ct' = \gamma(ct - \beta x) \quad ,$$

trong đó $\beta = \frac{v}{c}$, $\gamma = 1/\sqrt{1 - \beta^2}$. Ở đây, các trục tọa độ tương ứng của hai hệ quy chiếu thì song song với nhau và hệ quy chiếu S' chuyển động dọc theo trục x của hệ S với tốc độ v.

Bài giải

Cách 1

Ký hiệu S là hệ quy chiếu phòng thí nghiệm (đứng yên), S' là hệ quy chiếu riêng của gương (tức là gương đứng yên trong hệ S'). S' có các trục tọa độ song song với các trục tương ứng của hệ S và chuyển động với vận tốc v so với S. Xem ánh sáng gồm các photon có động lượng (trong hệ S)

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad , \quad p_x = p_y = p \cos(45^\circ) = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{h}{\lambda} \quad . \quad (1)$$

Trong hệ S', động lượng của photon tới là

$$p'_x = \gamma \left(p_x - \frac{Ev}{c^2} \right) \quad , \quad p'_y = p_y = p \frac{1}{\sqrt{2}} \quad , \quad \gamma^{-1} = \sqrt{1 - \beta^2} \quad , \quad \beta = \frac{v}{c} \quad ,$$

$$p' = \frac{p}{\sqrt{2}} \sqrt{1 + \gamma^2 (1 - \sqrt{2}\beta)^2} \quad . \quad (2)$$

Như vậy, trong hệ S', hướng truyền của ánh sáng lập góc α' so với trục $y' \equiv y$:

$$\tan \alpha' = \frac{p'_x}{p'_y} = \gamma(1 - \sqrt{2}\beta) \quad . \quad (3)$$

Động lượng trong S' của photon phản xạ là $(-p'_x, p'_y)$.

Đối với người quan sát B, photon phản xạ có động lượng

$$p''_x = \gamma \left(-p'_x + \frac{p'_y v}{c} \right) \quad , \quad p''_y = p'_y \quad . \quad (4)$$

Do đó,

$$\begin{aligned} \tan \theta &= \left| \frac{p''_x}{p''_y} \right| = \gamma \left(-\frac{p'_x}{p'_y} + \beta \frac{p'_y}{p'_y} \right) = \gamma \left\{ -\tan \alpha' + \beta \sqrt{1 + \tan^2 \alpha'} \right\} \\ &= \gamma \left| -\gamma(1 - \sqrt{2}\beta) + \beta \sqrt{1 + \gamma^2 (1 - \sqrt{2}\beta)^2} \right| \quad . \end{aligned} \quad (5)$$

a. Thay giá trị của γ và β , ta nhận được

$$\tan \theta = 0,4945 \quad \rightarrow \quad \theta = 26,3^\circ \quad .$$

b. Xét trong hệ S, động lượng của photon phản xạ là

$$p'' = \frac{p''_y}{\cos \theta} = \frac{p}{\sqrt{2} \cos \theta} . \quad (6)$$

Vậy B quan sát thấy ánh sáng có bước sóng

$$\lambda' = \frac{h}{p''} = \sqrt{2} \cos \theta \frac{h}{p} = \lambda \sqrt{2} \cos \theta = 634 \text{ nm} . \quad (7)$$

Cách 2

Theo hiệu ứng Doppler, nếu nguồn sáng chuyển động dọc theo trục x của hệ quy chiếu phòng thí nghiệm với vận tốc v, phương truyền của ánh sáng lập góc η với trục x, f là tần số ánh sáng, thì góc η' giữa phương truyền với trục x' và tần số f' của ánh sáng xét trong hệ tọa độ riêng của nguồn sáng được cho bởi các biểu thức

$$\cos \eta' = \frac{\cos \eta - v/c}{1 - v/c \cos \eta} , \quad f' = f \gamma (1 - v/c \cos \eta) .$$

Gọi S là hệ quy chiếu phòng thí nghiệm, S' là hệ quy chiếu riêng của gương. Ký hiệu α_1 là góc giữa hướng truyền của ánh sáng và trục x trong S thì góc α'_1 giữa hướng truyền và trục x' trong hệ S' được cho bởi

$$\cos \alpha'_1 = \frac{\cos \alpha_1 - \beta}{1 - \beta \cos \alpha_1} = \frac{\sin \alpha - \beta}{1 - \beta \sin \alpha} .$$

Tần số ánh sáng xét trong hệ S' là

$$f' = \gamma f (1 - \beta \cos \alpha_1) = \gamma f (1 - \beta \sin \alpha) .$$

Trong hệ S', góc tới ở gương là $\varphi' = \alpha'_1$; góc phản xạ bằng góc tới φ' .

Đối với B, góc phản xạ là φ

$$\cos \varphi = \frac{\cos \varphi' - \beta}{1 - \beta \cos \varphi'} = \frac{\cos \alpha'_1 - \beta}{1 - \beta \cos \alpha'_1} .$$

Ta có $\theta = 90^\circ - \varphi$.

Tần số người B ghi nhận được là f''

$$f'' = \gamma f' (1 - \beta \cos \varphi') = \gamma f' (1 - \beta \cos \alpha'_1) .$$

Thay giá trị số, ta nhận được $\theta = 26,3^\circ$, $\lambda'' = 634 \text{ nm}$.

Câu 3

Xét khối khí lý tưởng gồm N hạt khối lượng m chứa trong hình hộp lập phương thể tích V ($V=L^3$). Khối khí nằm trong trường thế có cường độ $\vec{G} = -b\vec{y}$ và ở trạng thái cân bằng với nhiệt độ T (b là hằng số, $\vec{y}$ là véc tơ đơn vị hướng theo trục tọa độ y).

Giả sử trong trường $\vec{G}$, hạt có thế năng $V(y)=mgy$, trong đó y là tọa độ của hạt ($-L/2 < y < L/2$). Hãy

- tính năng lượng của hệ.
- tính nhiệt dung của hệ.
- tính áp suất trong khối khí.

Gợi ý: Khí lý tưởng ở trạng thái cân bằng với nhiệt độ T tuân theo phân bố Maxwell-Boltzmann

$$f(E) = \frac{1}{Z} e^{-\frac{E}{k_B T}},$$

trong đó E là năng lượng của hạt.

Bài giải

a. Năng lượng của hệ: $E = T + U$, trong đó T là động năng tổng cộng, U là thế năng tổng cộng của hệ hạt. Ta có

$$T = N \left(\frac{3}{2} \right) k_B T. \quad (1)$$

Ký hiệu $N(y')dy'$ là số hạt có tọa độ y nằm trong khoảng $(y', y'+dy')$. Hàm $N(y)$ là hàm phân bố Boltzmann

$$N(y) = A e^{-\frac{mgy}{k_B T}}, \quad (2)$$

trong đó A là hằng số chuẩn hóa được xác định từ điều kiện

$$\int_{-L/2}^{L/2} N(y) dy = A \int_{-L/2}^{L/2} dy e^{-\frac{mgy}{k_B T}} = N. \quad (3)$$

Suy ra

$$A = \frac{Nmb}{2k_B T} \frac{1}{\sinh\left(\frac{mbL}{2k_B T}\right)}. \quad (4)$$

Thế năng tổng cộng của hệ là

$$U = \int_{-L/2}^{L/2} mgy N(y) dy = Nk_B T \left\{ 1 - \frac{mbL}{2k_B T} \coth\left(\frac{mbL}{2k_B T}\right) \right\}. \quad (5)$$

Năng lượng của hệ là

$$E = \frac{5}{2} Nk_B T - \frac{NmbL}{2} \coth\left(\frac{mbL}{2k_B T}\right). \quad (6)$$

b. Nhiệt dung của hệ

$$C = \frac{\partial E}{\partial T} = \frac{5}{2} Nk_B - \frac{N(mbL)^2}{4k_B T^2} \frac{1}{\sinh^2\left(\frac{mbL}{2k_B T}\right)}$$

$$= Nk_B \left\{ \frac{5}{2} - \left(\frac{mbL}{2k_B T}\right)^2 \frac{1}{\sinh^2\left(\frac{mbL}{2k_B T}\right)} \right\} . \quad (7)$$

c. Từ phương trình trạng thái suy ra áp suất tại vị trí có tọa độ y là

$$P(y) = n(y)k_B T$$

$$= \frac{Nmb}{2L^2} \frac{1}{\sinh\left(\frac{mbL}{2k_B T}\right)} e^{-\frac{mby}{k_B T}} , \quad (8)$$

trong đó $n(y)$ là mật độ hạt tại điểm có tọa độ y.

Cách khác:

Xét lớp khí có tọa độ y trong khoảng $(y, y+dy)$. Nếu biểu diễn số hạt trong lớp khí này có thành phần vận tốc theo trục x nằm trong khoảng (v_x, v_x+dv_x) là $N(v_x, y)dv_x L^2 dy$ thì

$$N(v_x, y)dv_x L^2 dy = C e^{-(\frac{1}{2}mv_x^2 + mby)/(k_B T)} dv_x L^2 dy$$

với C là hằng số chuẩn hóa,

$$C = \frac{1}{L^2} \frac{Nmb}{2k_B T} \left(\frac{m}{\pi 2k_B T}\right)^{1/2} \frac{1}{\sinh\left(\frac{mbL}{2k_B T}\right)} .$$

Các hạt trong lớp khí này va chạm với thành hộp vuông góc với trục x. Biến thiên thành phần động lượng hướng theo trục x của khối khí này, xét trong thời gian dt, là

$$dP_x = \int_0^\infty dv_x (2mv_x) N(v_x, y) (Ldy) (v_x dt)$$

$$= dt(Ldy) C \frac{\sqrt{\pi}}{4} \left(\frac{2k_B T}{m}\right)^{3/2} .$$

Do đó áp suất tác dụng lên thành hộp là

$$P = \frac{1}{Ldy} \frac{dP_x}{dt} = \frac{Nmb}{2L^2} \frac{1}{\sinh\left(\frac{mbL}{2k_B T}\right)} e^{-\frac{mby}{k_B T}} .$$

Chú ý: Định nghĩa của hàm hypebolic

$$\sinh x = \frac{1}{2}(e^x - e^{-x}) \quad , \quad \cosh x = \frac{1}{2}(e^x + e^{-x}) \quad ,$$

$$\tanh x = \frac{\sinh x}{\cosh x} = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad , \quad \coth x = \frac{\cosh x}{\sinh x} = \frac{e^x + e^{-x}}{e^x - e^{-x}} \quad .$$

Câu 4 Bẫy quang học

Người ta dùng các chùm laser giao thoa với nhau tạo thành bẫy quang học để bắt và giam giữ các nguyên tử siêu lạnh (nguyên tử có năng lượng chuyển động nhiệt rất thấp). Ở gần tâm bẫy, các chùm laser tạo ra điện trường có dạng

$$\vec{E}(x) = E_0 \left(1 - \frac{x^2}{x_0^2} \right) \vec{e}_z \quad ,$$

trong đó $\vec{e}_z$ là véc tơ đơn vị hướng theo trục z , x là khoảng cách đến tâm bẫy theo phương trục x . Giá trị đặc trưng của E_0 và x_0 là $E_0 = 5000 \text{ V/m}$, $x_0 = 5 \text{ }\mu\text{m}$.

Một nguyên tử rubidi $^{87}_{37}\text{Rb}$ chuyển động dọc theo trục x với tốc độ $v = 0,1 \text{ mm/s}$, đến vị trí $x = 0$ thì bẫy quang học được bật để hoạt động. Xét mô hình nguyên tử rubidi gồm hạt nhân là điện tích điểm bao bọc bởi đám mây điện tích âm phân bố đều trong quả cầu bán kính R (bán kính nguyên tử rubidi). Tâm quả cầu điện tích âm trùng với hạt nhân nên mô men lưỡng cực điện của nguyên tử bằng 0. Giả thiết rằng khi nguyên tử nằm trong điện trường, đám mây điện tích âm không bị biến dạng nhưng hạt nhân và tâm đám mây điện tích âm bị dịch chuyển, dẫn đến nguyên tử có mô men lưỡng cực điện khác 0.

a. Hãy tính hệ số phân cực α của nguyên tử ($\alpha =$ mô men lưỡng cực điện / cường độ điện trường).

Hằng số điện môi của khí nguyên tử rubidi có mật độ nguyên tử $N = 1,01 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ là $\varepsilon = 1,00004$. Hãy đánh giá bán kính R của nguyên tử rubidi.

b. Cho biết $R = 2,5 \text{ Å}$. Với các giá trị đặc trưng của bẫy quang học, hãy mô tả định lượng chuyển động của nguyên tử rubidi nói trên sau khi bẫy bắt đầu hoạt động (xác định các thông số của chuyển động và những giả thiết đã sử dụng).

c. Xác định tốc độ cực đại $v_{\max}$ của nguyên tử rubidi để nó còn có thể bị bắt vào bẫy khi bẫy hoạt động.

Cho biết hằng số điện môi của chân không $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{Nm}^2)$, khối lượng của một nucleon $m_n = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

Một số khái niệm: Véc tơ phân cực $\vec{P}$ của khối khí là tổng mô men lưỡng cực điện của các nguyên tử trong một đơn vị thể tích. Véc tơ phân cực liên hệ với điện trường ngoài bởi biểu thức

$$\vec{P} = \varepsilon_0 \chi \vec{E} \quad ,$$

trong đó χ gọi là độ cảm điện, ε_0 là hằng số điện môi của chân không. Hằng số điện môi ε của khối khí được cho bởi biểu thức $\varepsilon = 1 + \chi$.

Bài giải

a. Ký hiệu z_1 và z_2 lần lượt là độ dịch của hạt nhân và tâm quả cầu điện tích âm khi đặt trong điện trường của các chùm laser. Ký hiệu q là điện tích của hạt nhân. Công của điện trường thực hiện khi làm dịch chuyển hạt nhân và quả cầu điện tích âm là

$$A_1 = qE(x)z_1 + qE(x)z_2 = qE(x)d \quad , \quad (1)$$

trong đó d là khoảng cách giữa hạt nhân và tâm quả cầu điện tích âm, x là vị trí của nguyên tử trên trục x . Để nguyên tử không bị phá vỡ, $d < R$. Theo định luật bảo toàn năng lượng, công A_1 bằng năng lượng tĩnh điện A_2 của nguyên tử khi vị trí của hạt nhân lệch khỏi tâm quả cầu điện tích âm. Dễ dàng tính được thế tĩnh điện $U(r)$ gây bởi điện tích âm tại điểm cách tâm quả cầu một khoảng $r < R$

$$U(r) = \frac{1}{8\pi\varepsilon_0} \frac{q}{R^3} r^2 \quad . \quad (2)$$

Do đó,

$$A_2 = \frac{1}{8\pi\varepsilon_0} \frac{q^2}{R^3} d^2 \quad . \quad (3)$$

Suy ra

$$d = \frac{8\pi\varepsilon_0 R^3}{q} E(x) \quad , \quad (4)$$

do đó mô men lưỡng cực điện của nguyên tử là

$$\vec{p} = 8\pi\varepsilon_0 R^3 \vec{E}(x) \quad . \quad (5)$$

Hệ số phân cực của nguyên tử là

$$\alpha = 8\pi\varepsilon_0 R^3 \quad . \quad (6)$$

Nếu N là mật độ nguyên tử của khối khí thì véc tơ phân cực của khối khí là

$$\vec{P} = N\vec{p} = 8\pi\varepsilon_0 NR^3 \vec{E} \equiv \varepsilon_0 \chi \vec{E} \quad . \quad (7)$$

Theo định nghĩa, hằng số điện môi ε của khí nguyên tử liên hệ với độ cảm điện χ theo công thức

$$\varepsilon = 1 + \chi \quad . \quad (8)$$

Từ (7) và (8) rút ra

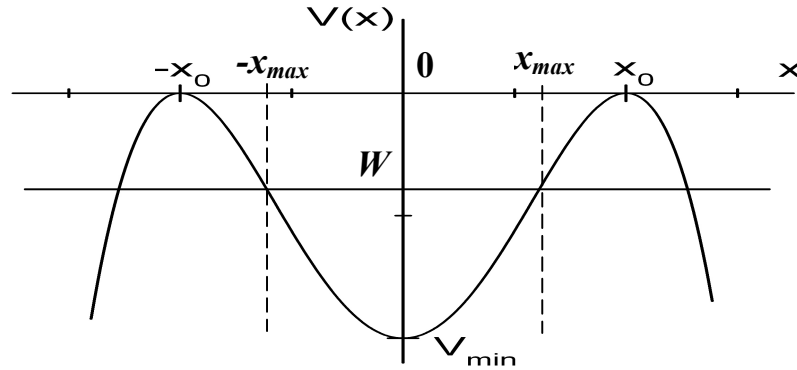
$$\varepsilon = 1 + 8\pi NR^3 \quad \text{hay} \quad R = \left(\frac{\varepsilon - 1}{8\pi N} \right)^{1/3} . \quad (9)$$

Thay giá trị số vào (9), ta nhận được $R = 2,52 \times 10^{-8} \text{ cm}$.

b. Thế năng của nguyên tử tại điểm x trong điện trường của các chùm laser là

$$V(x) = -\vec{p} \cdot \vec{E}(x) = -8\pi\varepsilon_0 R^3 E_0^2(x) = -8\pi\varepsilon_0 R^3 E_0^2 \left(1 - 2\frac{x^2}{x_0^2} + \frac{x^4}{x_0^4} \right) . \quad (10)$$

Đồ thị của $V(x)$



Tại thời điểm bắt đầu hoạt động, $t=0$, nguyên tử ở vị trí $x=0$, năng lượng tổng cộng của nguyên tử là

$$W = \frac{1}{2}mv^2 - 8\pi\varepsilon_0 R^3 E_0^2 \equiv \frac{1}{2}mv^2 + V_{\min} . \quad (11)$$

Vì $v < 4E_0 \sqrt{\frac{\pi\varepsilon_0 R^3}{m}} \approx 1,02 \text{ cm/s}$ nên $W < 0$. Tọa độ x lớn nhất của nguyên tử là $x_{\max}$ thỏa mãn phương trình

$$W - V(x) = 0 . \quad (12)$$

Vì $x_{\max} < x_0$ nên

$$x_{\max} = x_0 \sqrt{1 - \sqrt{1 + \frac{mv^2}{2V_{\min}}}} . \quad (13)$$

Thay các số liệu đã cho trong đầu bài, ta nhận được $x_{\max} \cong 0,065 x_0$, tức là

$$x_{\max} \ll x_0 . \quad (14)$$

Với giả thiết (11) và bất đẳng thức (14), ta có biểu thức gần đúng cho thế năng $V(x)$ của nguyên tử rubidi đã cho

$$V(x) \approx -8\pi\epsilon_0 R^3 E_0^2 \left(1 - 2\frac{x^2}{x_0^2}\right) \quad . \quad (15)$$

Như vậy, nguyên tử chịu tác dụng của lực

$$F(x) = -\frac{dV(x)}{dx} = -kx \quad \text{với} \quad k = \frac{32\pi\epsilon_0 R^3 E_0^2}{x_0^2} \quad . \quad (16)$$

Dưới tác dụng của lực $F(x)$, nguyên tử thực hiện dao động điều hòa xung quanh vị trí cân bằng $x = 0$ với tần số

$$f = \frac{3E_0}{x_0} \sqrt{\frac{\epsilon_0 R^3}{\pi m}} \approx 459 \text{ s}^{-1} \quad (17)$$

và biên độ

$$x_{\max} \approx x_0 \frac{v}{4RE_0} \sqrt{\frac{m}{2\pi\epsilon_0 R}} = 0,035 \text{ } \mu\text{m} \quad . \quad (18)$$

c. Theo đồ thị của $V(x)$, để nguyên tử bị bắt và giam giữ trong bẫy, vận tốc ban đầu của nguyên tử phải thỏa mãn điều kiện

$$v < v_{\max} \quad \text{với} \quad v_{\max} = 4E_0 \sqrt{\frac{\pi\epsilon_0 R^3}{m}} = 1,02 \text{ cm/s} \quad . \quad (19)$$

Olympic Vật lý sinh viên Toàn quốc lần thứ XIX**Đề thi THỰC NGHIỆM***(Thời gian làm bài 180 phút)***XÁC ĐỊNH BỀ RỘNG VÙNG CẤM CỦA CHẤT BÁN DẪN VÀ
MỨC NĂNG LƯỢNG FERMI CỦA KIM LOẠI****I. Cơ sở lý thuyết****1. Xác định bề rộng vùng cấm ΔE_g của chất bán dẫn.**

Chất bán dẫn là những chất có đặc điểm trung gian giữa chất dẫn điện và chất cách điện. Với chất bán dẫn, khi ở nhiệt độ $T = 0\text{ K}$ giữa vùng hóa trị (các mức năng lượng đều có điện tử điền đầy) và vùng dẫn (các mức năng lượng chưa có điện tử) có vùng cấm với khoảng cách ΔE_g nên khi ở $T \neq 0\text{ K}$, một số điện tử nhận năng lượng nhiệt sẽ chuyển từ vùng hóa trị lên vùng dẫn và đồng thời hình thành các lỗ trống trong vùng hóa trị. Khi có điện trường, các điện tử trong vùng dẫn và lỗ trống trong vùng hóa trị sẽ tham gia vào quá trình dẫn điện.

Một cách gần đúng có thể coi điện trở R của mẫu bán dẫn phụ thuộc vào nhiệt độ T của mẫu dạng: $R = C.T^{-\frac{3}{2}}.e^{\frac{\Delta E_g}{2k_B T}}$ với C là hằng số phụ thuộc vào mẫu bán dẫn; ΔE_g là bề rộng vùng cấm, $k_B = 1,38.10^{-23}\text{ J/K}$ là hằng số Boltzmann, T là nhiệt độ tuyệt đối.

Như vậy bằng việc khảo sát sự thay đổi điện trở của mẫu bán dẫn theo nhiệt độ ta có thể xác định được bề rộng vùng cấm của chất bán dẫn làm mẫu.

2. Xác định giá trị mức năng lượng Fermi E_F của kim loại

Theo lý thuyết vùng năng lượng, chất dẫn điện (kim loại) có vùng dẫn được điền đầy một phần bởi các điện tử. Mức năng lượng Fermi E_F trong kim loại được biết đến là mức năng lượng lớn nhất mà các điện tử có thể có mặt ở nhiệt độ 0 K . Phía dưới mức năng lượng Fermi, các mức năng lượng đều được điền đầy bởi các điện tử. Việc xác định được giá trị mức năng lượng Fermi cho chúng ta nhiều thông tin liên quan đến tính dẫn nhiệt và dẫn điện của vật liệu.

Trong kim loại, mỗi nguyên tử có thể có nhiều điện tử nhưng chỉ có các điện tử hóa trị là có thể chuyển động tự do trong vật hình thành đám mây điện tử còn các điện tử khác bị định xứ tại các vị trí nguyên tử. Khi có điện trường trong kim loại, dưới tác dụng của điện trường các điện tử hóa trị chịu tác dụng của lực điện trường và tham gia vào quá trình dẫn điện.

Trong thí nghiệm này chúng ta xác định mức năng lượng Fermi của kim loại đồng (Cu). Giả thiết mỗi nguyên tử Cu đóng góp một điện tử tham gia vào quá trình dẫn điện và coi tốc độ chuyển động trung bình của các điện tử ở nhiệt độ tuyệt đối T cỡ tốc độ Fermi V_F được tính theo

công thức $V_F = \sqrt{\frac{2E_F}{m}}$ với $m = 9,1.10^{-31}\text{ Kg}$ là khối lượng điện tử. Quãng đường chuyển động

tự do trung bình λ của điện tử trong quá trình dẫn điện ở nhiệt độ T phụ thuộc vào nhiệt độ dạng

$$\lambda = \frac{1}{a + 1,35 \cdot 10^5 T} \text{ với } a \text{ là hằng số. Độ dẫn điện của kim loại là } \sigma = \frac{ne^2}{m} \tau \text{ với } \tau \text{ là thời gian di}$$

chuyển giữa hai lần va chạm của điện tử với nút mạng (thời gian sống), n là mật độ điện tử trong một đơn vị thể tích, $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ là độ lớn điện tích điện tử.

II. Dụng cụ thí nghiệm

- Hộp nguồn điện một chiều biến đổi
- 02 đồng hồ đo điện vạn năng; 01 nhiệt kế điện tử
- 04 dây nối và 01 bộ dây để nối linh kiện.
- 01 linh kiện dạng cuộn dây Cu; 01 linh kiện bán dẫn (linh kiện bé)
- 01 viên bi sắt, túi bóng, cốc; chun nịt, nước nóng.

III. Yêu cầu thí nghiệm

1. Xác định bề rộng vùng cấm ΔE_g của chất bán dẫn.

Điện trở của chất bán dẫn sẽ tăng khi nhiệt độ mẫu giảm. Để đo điện trở của mẫu bán dẫn hãy sử dụng đồng hồ vạn năng ở chế độ ôm kế. Yêu cầu:

- Tiến hành đo sự thay đổi điện trở R của mẫu bán dẫn theo nhiệt độ, ghi bảng số liệu.
- Xây dựng công thức cần thiết và chỉ ra cách xác định ΔE_g .
- Lập bảng số liệu tính toán để xử lý số liệu bằng đồ thị, vẽ đồ thị liên quan trên giấy vẽ.
- Xác định giá trị ΔE_g theo đơn vị eV (*không yêu cầu tính sai số của giá trị ΔE_g*).

2. Xác định mức năng lượng Fermi E_F của kim loại.

Dây đồng (Cu) dùng trong thí nghiệm có chiều dài dây là $L = 5,2 \text{ m}$ và đường kính sợi dây $d = 0,28 \text{ mm}$ được cuốn quanh lõi làm bằng vật liệu truyền nhiệt tốt thành dạng linh kiện. Cho biết Cu có khối lượng riêng là $\rho = 8930 \text{ kg/m}^3$ và khối lượng mol của Cu là $\mu = 63,54 \text{ g/mol}$, mỗi mol có $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ nguyên tử (số Avogadro). Hãy:

- Vẽ sơ đồ bố trí thí nghiệm để đo chính xác nhất sự thay đổi điện trở của dây Cu theo nhiệt độ.
- Tiến hành đo đặc để xác định sự thay đổi điện trở dây Cu theo nhiệt độ và viết bảng số liệu.
- Xây dựng công thức cần thiết và chỉ ra cách xác định E_F ;
- Xử lý số liệu bằng phương pháp đồ thị và xác định giá trị E_F (*không yêu cầu tính sai số của giá trị E_F*).

IV. Lưu ý trong quá trình làm thí nghiệm

- Nên cho mẫu cần đo, đầu đo nhiệt độ và viên bi vào túi bóng, buộc và thả túi bóng vào cốc nước nóng hạn chế cho nước lọt vào túi. Để tiết kiệm thời gian đo ở vùng nhiệt độ thấp nhiệt độ giảm chậm, hãy đo điện trở R của mẫu khi nhiệt độ giảm từ khoảng 70°C xuống khoảng 45°C .

- Nguồn một chiều biến đổi có dòng cực đại là khoảng 200 mA nên thận trọng khi sử dụng phương án dùng đến nguồn và sẽ không có dụng cụ thay thế.

HƯỚNG DẪN CHẤM THÍ NGHIỆM

1. Xác định bề rộng vùng cấm của chất bán dẫn.

- Bảng số liệu

t°C	70	68	66	64	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44
R (KΩ)	1.67	1.80	1.95	2.11	2.29	2.48	2.70	2.91	3.15	3.42	3.71	4.03	4.38	4.78

- Xây dựng công thức cần thiết và chỉ ra cách xác định ΔE_g

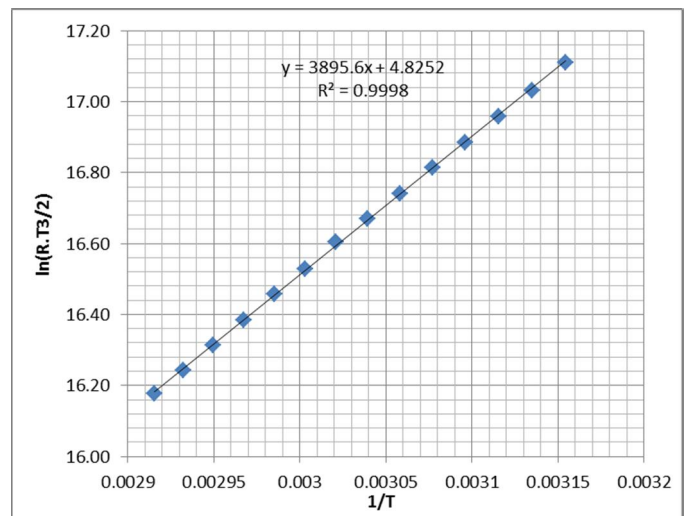
$$\text{Từ } R = C.T^{-\frac{3}{2}}.e^{\frac{\Delta E_g}{2k_B T}} \text{ ta có } R.T^{\frac{3}{2}} = C.e^{\frac{\Delta E_g}{2k_B T}} \Rightarrow \ln(R.T^{\frac{3}{2}}) = \ln C + \frac{\Delta E_g}{2k_B} \frac{1}{T}$$

$$\text{Đặt } X = \frac{1}{T}; Y = \ln(R.T^{\frac{3}{2}}); A = \ln C; B = \frac{\Delta E_g}{2k_B} \text{ ta có } Y = A + BX$$

Dựng đồ thị Y theo X ta có đồ thị dạng tuyến tính, xác định độ nghiêng ta tìm được B và xác định được $\Delta E_g = 2k_B B$

- Bảng xử lý số liệu để vẽ đồ thị

t (°C)	R (KΩ)	T (K)	X = 1/T (1/K)	Y = ln(R.T ^{3/2})
70	1.67	343	0.002915	16.18
68	1.80	341	0.002933	16.24
66	1.95	339	0.00295	16.31
64	2.11	337	0.002967	16.38
62	2.29	335	0.002985	16.46
60	2.48	333	0.003003	16.53
58	2.70	331	0.003021	16.60
56	2.91	329	0.003040	16.67
54	3.15	327	0.003058	16.74
52	3.42	325	0.003077	16.81
50	3.71	323	0.003096	16.89
48	4.03	321	0.003115	16.96
46	4.38	319	0.003135	17.03
44	4.78	317	0.003155	17.11



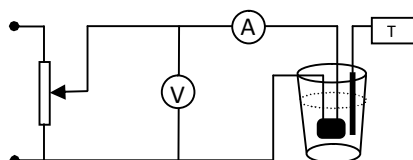
- Vẽ đồ thị để xử lý số liệu xác định độ nghiêng $B = 3895.6$

- Xử lý số liệu để nhận được giá trị ΔE_g

$$\Delta E_g = 2k_B B = 2.1,38.10^{-23}.3895,6 = 1,08.10^{-19} (J) = 0,67 \text{ eV}$$

2. Xác định mức năng lượng Fermi của kim loại.

- Vẽ sơ đồ bố trí thí nghiệm



- Tiến hành đo đạc để xác định sự thay đổi R theo nhiệt độ

T (°C)	U (mV)	I (mA)	Y = R (Ω)
80	113.9	49.8	2.287
78	112.5	49.8	2.259
76	111.8	49.8	2.245
75	111.3	49.8	2.235
74	110.8	49.8	2.225
72	110.1	49.8	2.211
70	109.4	49.8	2.197
68	108.8	49.8	2.185
66	108.0	49.8	2.169
65	107.6	49.8	2.161
64	107.2	49.8	2.153

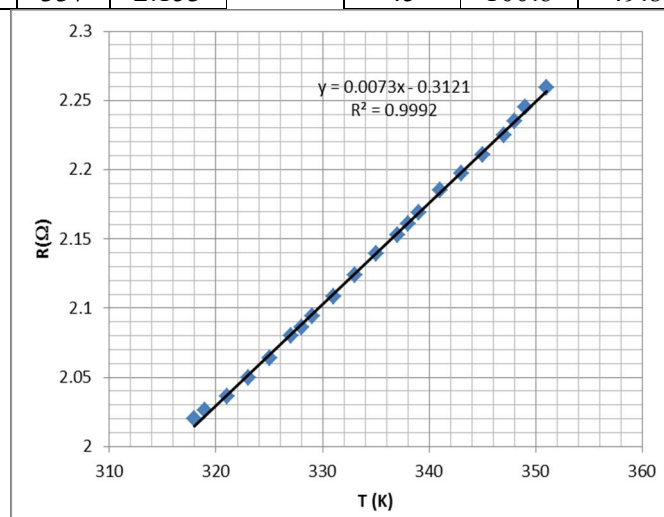
T (°C)	U (mV)	I (mA)	Y = R (Ω)
62	106.5	49.8	2.139
60	105.8	49.8	2.124
58	105.0	49.8	2.108
56	104.3	49.8	2.094
55	103.9	49.8	2.086
54	103.6	49.8	2.080
52	102.8	49.8	2.064
50	102.1	49.8	2.050
48	101.4	49.8	2.036
46	100.9	49.8	2.026
45	100.6	49.8	2.020

- Xây dựng công thức cần thiết và chỉ ra cách xác định E_F

$$R = \frac{L a \sqrt{2mE_F}}{ne^2 \pi r^2} + 1,35 \cdot 10^5 \cdot \frac{L \sqrt{2mE_F}}{ne^2 \pi r^2} T$$

T (°C)	U (mV)	I (mA)	X = T (K)	Y = R (Ω)
80	113.9	49.8	353	2.287
78	112.5	49.8	351	2.259
76	111.8	49.8	349	2.245
75	111.3	49.8	348	2.235
74	110.8	49.8	347	2.225
72	110.1	49.8	345	2.211
70	109.4	49.8	343	2.197
68	108.8	49.8	341	2.185
66	108.0	49.8	339	2.169
65	107.6	49.8	338	2.161
64	107.2	49.8	337	2.153

T (°C)	U (mV)	I (mA)	X = T (K)	Y = R (Ω)
62	106.5	49.8	335	2.139
60	105.8	49.8	333	2.124
58	105.0	49.8	331	2.108
56	104.3	49.8	329	2.094
55	103.9	49.8	328	2.086
54	103.6	49.8	327	2.080
52	102.8	49.8	325	2.064
50	102.1	49.8	323	2.050
48	101.4	49.8	321	2.036
46	100.9	49.8	319	2.026
45	100.6	49.8	318	2.020



* Xác định giá trị E_F

- Xác định được độ nghiêng bằng phương pháp bình phương tối thiểu

$$R = \frac{La\sqrt{2mE_F}}{ne^2\pi r^2} + 1,35 \cdot 10^5 \cdot \frac{L\sqrt{2mE_F}}{ne^2\pi r^2} T \Rightarrow E_F = \left[\frac{ne^2\pi r^2}{L\sqrt{2m}} \right]^2 \left[\frac{0,0073}{1,35 \cdot 10^5} \right]^2 = 1,1 \cdot 10^{-19} \text{ (J) } \text{ Vậy ta có}$$

mức Fermi của Cu là $E_F = 6,7 \text{ eV}$

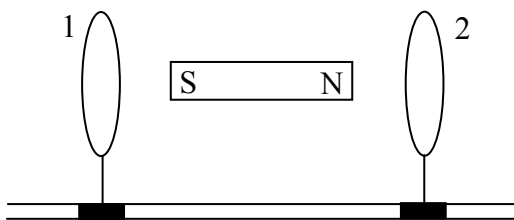
OLYMPIC VẬT LÝ SINH VIÊN TOÀN QUỐC LẦN THỨ XX
ĐẠI HỌC TÂN TRÀO – 2017

CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM

Câu 1

Một thanh nam châm được đặt ở giữa hai vành dẫn điện như trên hình vẽ. Hai vành được gắn vào một thanh ray và cách điện với thanh ray. Các vành có thể chuyển động không ma sát trên ray. (Mặt phẳng các vành song song với nhau, vuông góc với nam châm và thanh ray). Nếu dịch chuyển nam châm về bên phải thì các vành sẽ thế nào?

- A. Cả hai đứng yên
- B. Cả hai chuyển động về bên trái
- C. Cả hai chuyển động về bên phải
- D. Vành 1 đứng yên, vành 2 chuyển động về bên phải



Đáp án: C

Khi di chuyển nam châm về bên phải, từ thông qua vành 2 tăng, từ thông qua vành 1 giảm. Theo định luật Lenz, trong các vành xuất hiện dòng cảm ứng có tác dụng chống lại sự thay đổi đó. Vì vậy, cả hai vành đều chuyển động về bên phải.

Câu 2

Ánh sáng đơn sắc đi qua khe đơn có độ rộng 0,01 cm tạo ra trên màn hình cách xa 1 m cực tiểu bậc một cách cực đại trung tâm một khoảng 0,59 cm. Hãy xác định bước sóng của ánh sáng.

- A. $1,18 \times 10^{-4}$ cm
- B. $5,90 \times 10^{-4}$ cm
- C. $1,18 \times 10^{-5}$ cm
- D. $5,90 \times 10^{-5}$ cm

Đáp án: D

Trong nhiễu xạ qua khe đơn, cực tiểu bậc m được xác định bởi biểu thức

$$\sin \theta = m \frac{\lambda}{a}, \quad m = \pm 1, \pm 2, \dots$$

trong đó a là độ rộng khe. Mặt khác, $\tan \theta = \frac{x}{d}$ với x là khoảng cách từ cực tiểu đến cực đại trung tâm, d là khoảng cách từ khe đến màn hình. Vì $d \gg x$ nên có thể lấy gần đúng

$$\tan \theta \approx \sin \theta = \frac{x}{d}, \quad \text{hay} \quad \frac{x}{d} = |m| \frac{\lambda}{a}, \quad \text{từ đó rút ra} \quad \lambda = \frac{ax}{|m|d}.$$

Thay giá trị số, ta nhận được $\lambda = 5,90 \times 10^{-5}$ cm.

Câu 3

Một hạt alpha được tăng tốc từ trạng thái đứng yên đến trạng thái có tốc độ rất lớn. Để gia tốc hạt phải tiêu tốn năng lượng $E = 1,0754 \times 10^{-9}$ J. Khối lượng của hạt alpha là $m_0 = 6,6442 \times 10^{-27}$ kg. Tốc độ cuối của hạt alpha là

A. 0,90 c

B. 0,93 c

C. 0,96 c

D. 0,98 c

Đáp án: B

Động năng T của hạt bằng năng lượng tiêu tốn E . Mặt khác, $T = (m - m_0)c^2$. Do đó,

$$m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right) = T \quad \text{hay} \quad \beta^2 \equiv \frac{v^2}{c^2} = 1 - \left(\frac{T}{m_0 c^2} + 1 \right)^{-2}.$$

Thay số, ta nhận được $v \approx 0,93c$.

Câu 4

Một con dơi bay với tốc độ ổn định $v = 4$ m/s phát ra âm thanh có tần số $f = 90 \times 10^3$ Hz. Nó bay ngang về phía bức tường thẳng đứng. Con dơi nhận được âm thanh phản xạ có tần số (tốc độ âm trong không khí là $v_0 = 330$ m/s)

A. $92,2 \times 10^3$ HzB. $89,2 \times 10^3$ HzC. $88,2 \times 10^3$ HzD. $87,2 \times 10^3$ Hz**Đáp án: A**

Vì con dơi bay về phía bức tường nên âm thanh do nó phát ra dội vào tường sẽ có tần số

$f_1 = \frac{f}{1 - v/v_0}$. Âm thanh phản xạ cũng có tần số f_1 . Con dơi nhận được âm thanh phản xạ có

tần số $f_2 = f_1(1 + v/v_0) = f \left(\frac{1 + v/v_0}{1 - v/v_0} \right) \approx 92,2 \times 10^3$ Hz.

Câu 5

Hai chiếc bình được nối thông nhau qua một cái van. Ban đầu van đóng, một bình chứa $n_1 = 1,0$ mol khí oxy ở nhiệt độ $T_1 = 241$ K, bình thứ hai chứa $n_2 = 2,0$ mol khí oxy ở nhiệt độ $T_2 = 361$ K, áp suất khí trong hai bình bằng nhau. Người ta mở van để hai bình thông nhau. Sau khi khí trong hai bình ở trạng thái cân bằng, hãy xác định độ biến thiên entropy của hệ. Biết các bình có vỏ cách nhiệt lí tưởng và xem khí trong các bình là khí lý tưởng.

A. 1,5 J/K

B. 1,9 J/K

C. 2,2 J/K

D. 2,5 J/K

Đáp án: A

Quá trình diễn ra khi mở van để hai bình thông nhau là quá trình đẳng áp. Ký hiệu T là nhiệt độ của khí trong hai bình khi ở trạng thái cân bằng. Ta có các phương trình

$$PV_1 = n_1 RT_1, \quad PV_2 = n_2 RT_2, \quad P(V_1 + V_2) = (n_1 + n_2)RT.$$

Suy ra $T = \frac{n_1 T_1 + n_2 T_2}{n_1 + n_2} = 321$ K.

Độ biến thiên entropy của khí trong các bình là

$$\Delta S_1 = n_1 C_p \ln \frac{T}{T_1}, \quad \Delta S_2 = n_2 C_p \ln \frac{T}{T_2},$$

trong đó C_p là nhiệt dung mol đẳng áp của oxy. Vì nhiệt độ của khí trong các bình không cao nên có thể bỏ qua đóng góp vào nhiệt dung riêng của các bậc tự do ứng với dao động của các nguyên tử trong phân tử oxy. Do đó $C_p = \left(\frac{5}{2} + 1 \right) R$. Độ biến thiên entropy của hệ là

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = C_p \left(n_1 \ln \frac{T}{T_1} + n_2 \ln \frac{T}{T_2} \right) = 1,5 \text{ J/K}.$$

Câu 6

Một nguyên tử hydro chuyển động với tốc độ rất nhỏ so với tốc độ ánh sáng và va chạm với một nguyên tử hydro khác đứng yên. Cả hai nguyên tử đều ở trạng thái cơ bản. Tốc độ tối thiểu của nguyên tử chuyển động là bao nhiêu để va chạm không đàn hồi có thể xảy ra? Biết rằng nguyên tử hydro có khối lượng là $1,67 \times 10^{-27}$ kg và năng lượng ion hóa 13,6 eV ($1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$).

- A. $4,42 \times 10^4 \text{ m/s}$ B. $5,10 \times 10^4 \text{ m/s}$
C. $6,25 \times 10^4 \text{ m/s}$ D. $7,22 \times 10^4 \text{ m/s}$

Đáp án: C

Tốc độ tối thiểu của nguyên tử là tốc độ mà khi xét trong hệ quy chiếu khối tâm, sau va chạm, cả hai nguyên tử đứng yên nhưng một nguyên tử ở trạng thái kích thích thứ nhất còn nguyên tử kia vẫn ở trạng thái cơ bản. Các mức năng lượng của nguyên tử hydro được cho bởi biểu thức $E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ (eV)}$, $n = 1, 2, 3, \dots$. Ký hiệu v là tốc độ của nguyên tử chuyển động trong hệ quy chiếu phòng thí nghiệm. Trong hệ quy chiếu khối tâm, hai nguyên tử chuyển động đối đầu nhau với cùng tốc độ $v/2$. Do đó ta có

$$2 \frac{1}{2} m \left(\frac{v}{2} \right)^2 = -\frac{13,6}{2^2} - \left(-\frac{13,6}{1^2} \right) \quad (\text{eV}) .$$

Từ đó suy ra $v_{\min} = 6,25 \times 10^4 \text{ m/s}$.

Câu 7

Véc tơ cường độ điện trường của một sóng ánh sáng là

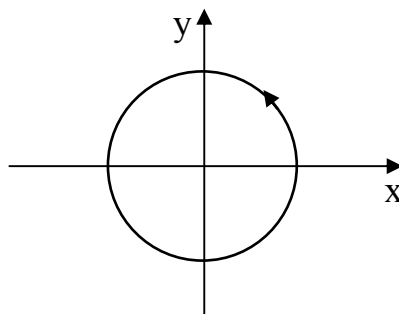
$$\vec{E} = E_0 \left[\vec{x} \sin(\omega t - kz) + \vec{y} \sin(\omega t - kz - \frac{\pi}{2}) \right] ,$$

trong đó $\vec{x}$ và $\vec{y}$ lần lượt là véc tơ đơn vị hướng theo trục x và y. Trạng thái phân cực của ánh sáng này là

- A. Phân cực tròn trái B. Phân cực tròn phải
C. Phân cực elip phải D. Phân cực elip trái

Đáp án: A

Dễ dàng thấy nếu nhìn ngược chiều trục z, điểm đầu của véc tơ điện trường chạy trên đường tròn ngược chiều kim đồng hồ. Do đó ánh sáng này có phân cực tròn trái.

**Câu 8**

Một hạt khối lượng m chuyển động một chiều trong thế

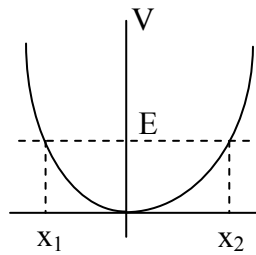
$$V(x) = \begin{cases} ax^2 & x < 0 \\ bx^2 & x \geq 0 \end{cases},$$

trong đó a và b là các hằng số dương, $a \neq b$. Nếu hạt có năng lượng E thì chu kỳ chuyển động của hạt là

- A. $\pi\sqrt{\frac{m}{2}}\left(\sqrt{\frac{1}{a}} + \sqrt{\frac{1}{b}}\right)$ B. $\pi\sqrt{2m}\left(\frac{\sqrt{a} + \sqrt{b}}{a+b}\right)$
C. $2\pi\sqrt{\frac{m}{a+b}}$ D. $\pi\frac{2\sqrt{m}}{\sqrt{a} + \sqrt{b}}$

Đáp án: A

Điểm quay của hạt là $x_1 = -\sqrt{E/a}$ và $x_2 = \sqrt{E/b}$.



Chu kỳ chuyển động của hạt được cho bởi biểu thức

$$\begin{aligned} T &= 2 \left(\int_{x_1}^0 \frac{dx}{\sqrt{2(E - ax^2)/m}} + \int_0^{x_2} \frac{dx}{\sqrt{2(E - bx^2)/m}} \right) \\ &= \sqrt{2m} \left(\frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-1}^0 \frac{dy}{\sqrt{1-y^2}} + \frac{1}{\sqrt{b}} \int_0^1 \frac{dy}{\sqrt{1-y^2}} \right) = \pi\sqrt{\frac{m}{2}} \left(\frac{1}{\sqrt{a}} + \frac{1}{\sqrt{b}} \right) \end{aligned}$$

Câu 9

Một hệ có N hạt, $N \gg 1$. Mỗi hạt chỉ có thể ở một trong hai trạng thái năng lượng E_0 hoặc $E_0 + \varepsilon$ với $\varepsilon > 0$. Nếu hệ ở trạng thái cân bằng nhiệt có nhiệt độ T thì số hạt trung bình có năng lượng E_0 là

- A. $\frac{N}{2}$ B. $\frac{N}{e^{-\varepsilon/kT} + 1}$ C. $\frac{N}{e^{\varepsilon/kT} + 1}$ D. $Ne^{-\varepsilon/kT}$

Đáp án: B

Trong trạng thái cân bằng ở nhiệt độ T , xác suất hạt nằm ở trạng thái có năng lượng E là

$W = Ae^{-E/kT}$, trong đó A là hệ số chuẩn hóa được xác định từ điều kiện $A \sum_E e^{-E/kT} = 1$.

Trong trường hợp đã cho, ta có

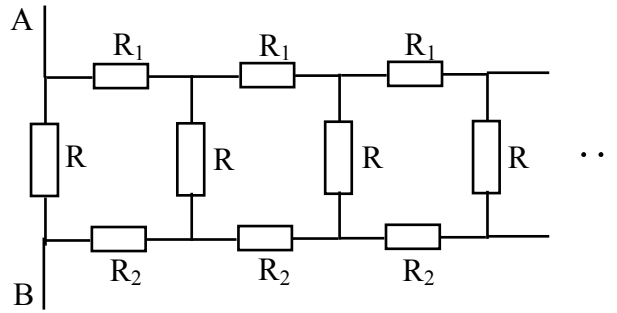
$$A(e^{-E_0/kT} + e^{-(E_0+\varepsilon)/kT}) = 1 \Rightarrow A = \frac{e^{E_0/kT}}{1 + e^{-\varepsilon/kT}}.$$

Số hạt trung bình có năng lượng E_0 là

$$N_{E_0} = NAe^{-E_0/kT} = \frac{N}{e^{-\varepsilon/kT} + 1}.$$

Câu 10

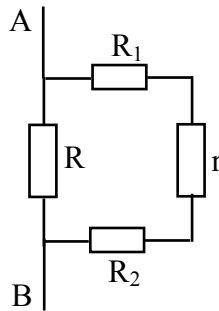
Hãy tính điện trở giữa hai đầu A và B của mạch dạng thang vô hạn như trên hình vẽ. Cho $R = 3,0 \, \Omega$, $R_1 = 1,0 \, \Omega$, $R_2 = 2,0 \, \Omega$.



- A. $1,3 \, \Omega$ B. $1,6 \, \Omega$ C. $1,9 \, \Omega$ D. $2,1 \, \Omega$

Đáp án : C

Gọi r là điện trở của mạch đã cho. Có thể vẽ lại mạch này như sau :



Ta có
$$\frac{1}{r} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_1 + R_2 + r}.$$

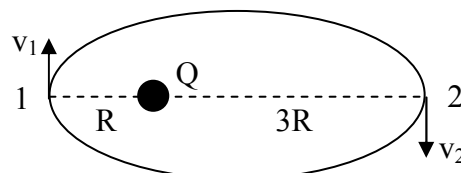
Dễ dàng thu được

$$r = \frac{1}{2} \left[-(R_1 + R_2) + \sqrt{(R_1 + R_2)(R_1 + R_2 + 4R)} \right] = 1,9 \, \Omega$$

Câu 11

Hình vẽ bên mô tả quỹ đạo elip của một vệ tinh chuyển động quanh trái đất Q. Tại điểm 1, vệ tinh ở gần trái đất nhất, khoảng cách là R . Điểm 2 là điểm cách xa trái đất nhất, khoảng cách tới trái đất là $3R$. Tốc độ của vệ tinh tại các điểm thỏa mãn

- A. $v_1 = v_2$ B. $v_2 = 3v_1$ C. $v_1 = 3v_2$ D. Không đủ thông tin



Đáp án: C

Tại điểm 1 và 2, vận tốc của vệ tinh có phương vuông góc với đường nối vệ tinh với trái đất. Lấy trái đất làm gốc tọa độ, mô men động lượng của vệ tinh tại các điểm này lần lượt là $L_1 = mv_1 R$; $L_2 = mv_2 3R$. Mô men động lượng của vệ tinh là đại lượng bảo toàn : $L_1 = L_2$. Do đó $v_1 = 3v_2$.

Câu 12

Hiện nay, chu kỳ quay quanh quả đất của mặt trăng là T . Nếu mặt trăng có khối lượng lớn gấp 2 lần khối lượng bây giờ mà bán kính quỹ đạo quanh trái đất vẫn như cũ thì chu kỳ quay quanh quả đất là

- A. T B. $T/4$ C. $T/2$ D. $2T$

Đáp án : A

Theo định luật Kepler 3, $T^2/R^3 = \text{const.}$, trong đó T là chu kỳ quay, R là một nửa trục chính của quỹ đạo elip (hay bán kính của quỹ đạo tròn). Nếu khối lượng mặt trăng thay đổi nhưng bán kính quỹ đạo không đổi thì chu kỳ quay không thay đổi.

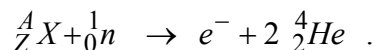
Câu 13

Sau khi hấp thụ một hạt nơ tron, một hạt nhân phát xạ một hạt β^- sau đó phân tách thành hai hạt alpha. Giá trị (A, Z) của hạt nhân ban đầu là (A là số khối, Z là nguyên tử số)

- A. $(6, 2)$ B. $(6, 3)$ C. $(7, 2)$ D. $(7, 3)$

Đáp án: D

Ký hiệu hạt nhân ban đầu là ${}_Z^AX$, ta có phương trình phản ứng



Từ đó suy ra $A + 1 = 2 \times 4 = 8 \rightarrow A = 7$
 $Z + 0 = -1 + 2 \times 2 = 3 \rightarrow Z = 3$

Câu 14

Khi chiếu ánh sáng đơn sắc có bước sóng λ lên một bề mặt kim loại, thế hãm đối với dòng quang điện là $3V_0$. Nếu chiếu cũng bề mặt đó bởi ánh sáng có bước sóng 2λ thì thế hãm là V_0 . Giới hạn quang điện của kim loại đó là

- A. $3\lambda/2$ B. $5\lambda/2$ C. 3λ D. 4λ

Đáp án: D

Ký hiệu E_0 là công thoát của kim loại đã cho, ta có các phương trình

$$\frac{hc}{\lambda} - E_0 = 3V_0, \quad \frac{hc}{2\lambda} - E_0 = V_0.$$

Do đó, $E_0 = \frac{hc}{4\lambda}$. Vậy giới hạn quang điện của kim loại đã cho là $\lambda_0 = 4\lambda$.

Câu 15

Tìm nhiệt dung riêng đẳng áp (ở nhiệt độ không quá cao) của một hỗn hợp khí gồm 3 mol argon Ar và 2 mol nitơ N_2 , biết khối lượng mol của argon và nitơ là $\mu_{Ar} = 40 \text{ g/mol}$ và $\mu_{N_2} = 28 \text{ g/mol}$.

- A. $658 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ B. $568 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ C. $586 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ D. $685 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$

Đáp án: D

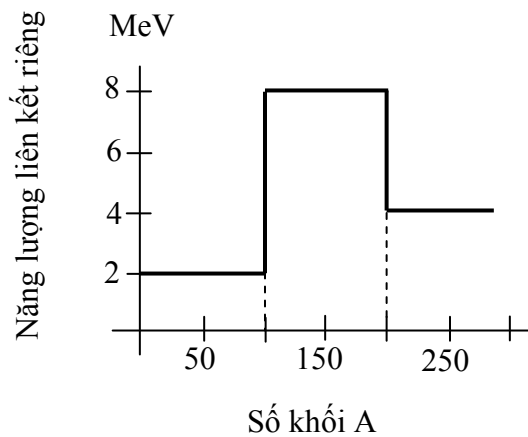
Ở nhiệt độ không quá cao, có thể bỏ qua đóng góp của các bậc tự do ứng với dao động của nguyên tử trong phân tử vào nhiệt dung mol của chất khí. Do đó, nhiệt dung mol đẳng áp của

Ar và N_2 là $C_{P(Ar)} = \frac{5}{2}R$, $C_{P(N_2)} = \frac{7}{2}R$. Nhiệt lượng cần thiết để nhiệt độ của hỗn hợp khí tăng thêm 1 K khi áp suất không đổi là $Q = 3C_{P(Ar)} + 2C_{P(N_2)} = \frac{29}{2} \times 8,314 J/K$. Vậy nhiệt dung riêng của hỗn hợp khí là

$$C_P = \frac{Q}{3\mu_{Ar} + 2\mu_{N_2}} = 685 J/kg \cdot K.$$

Câu 16

Giả sử trên hình vẽ là đồ thị sự phụ thuộc số khối của năng lượng liên kết riêng (năng lượng liên kết trung bình ứng với một nucleon) của các hạt nhân.



Dựa vào đồ thị trên, hãy cho biết phát biểu nào dưới đây đúng :

- A. Phản ứng tổng hợp hai hạt nhân có số khối trong khoảng $1 < A < 50$ là phản ứng tỏa nhiệt.
- B. Phản ứng phân hạch hạt nhân có số khối trong khoảng $100 < A < 200$ thành hai mảnh là phản ứng tỏa nhiệt.
- C. Phản ứng tổng hợp hai hạt nhân có số khối trong khoảng $100 < A < 200$ là phản ứng tỏa nhiệt.
- D. Phản ứng tổng hợp hai hạt nhân có số khối trong khoảng $51 < A < 100$ là phản ứng tỏa nhiệt.

Đáp án: D

Xét phản ứng tổng hợp hạt nhân $X_1 + X_2 \rightarrow X$. Ký hiệu M_1 , M_2 và M (A_1 , A_2 và A) là khối lượng (số khối) của các hạt nhân tương ứng. Phản ứng này là phản ứng tỏa nhiệt nếu

$$(M_1 + M_2)c^2 > Mc^2 \Rightarrow (A_1 + A_2)mc^2 - (M_1 + M_2)c^2 < (A_1 + A_2)mc^2 - Mc^2 \Rightarrow \frac{(A_1 + A_2)mc^2 - (M_1 + M_2)c^2}{A_1 + A_2} < \frac{(A_1 + A_2)mc^2 - Mc^2}{A_1 + A_2} \equiv \bar{E}, \quad (1)$$

trong đó m là khối lượng của nucleon, $\bar{E}_1$, $\bar{E}_2$ và $\bar{E}$ là năng lượng liên kết riêng của các hạt nhân tương ứng. Mặt khác,

$$\frac{(A_1 + A_2)mc^2 - (M_1 + M_2)c^2}{A_1 + A_2} < \frac{A_1mc^2 - M_1c^2}{A_1} + \frac{A_2mc^2 - M_2c^2}{A_2} \equiv \bar{E}_1 + \bar{E}_2.$$

Do đó, nếu $\bar{E}_1 + \bar{E}_2 < \bar{E}$ (2)

thì bất đẳng thức (1) thỏa mãn, tức là phản ứng tổng hợp đang xét là phản ứng tỏa nhiệt.

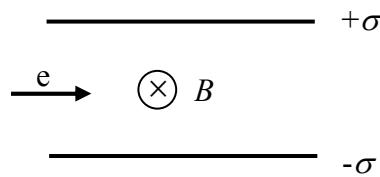
Tương tự, đối với phản ứng phân hạch $X \rightarrow X_1 + X_2$, nếu $\bar{E} < \bar{E}_1 + \bar{E}_2$ (3)
thì phản ứng này là phản ứng tỏa nhiệt.

Các bất đẳng thức (2) và (3) không thỏa mãn đối với các phản ứng trong lựa chọn A, B và C. Trong lựa chọn D, hai hạt nhân có số khối trong khoảng $51 < A < 100$ kết hợp lại tạo thành hạt nhân có số khối lớn hơn 100 và nhỏ hơn 200. Căn cứ đồ thị đã cho, bất đẳng thức (2) thỏa mãn, do đó phản ứng này là phản ứng tỏa nhiệt.

Câu 17

Một electron bay vào khoảng không gian giữa hai bản của một tụ điện phẳng. Mật độ điện tích trên bản tụ là σ . Cường độ điện trường giữa hai bản tụ là E . Trong không gian giữa hai bản tụ có từ trường đều $\vec{B}$ vuông góc với điện trường $\vec{E}$. Electron chuyển động thẳng vuông góc với cả điện trường $\vec{E}$ lẫn từ trường $\vec{B}$. Thời gian electron đi được quãng đường l bên trong tụ là

- A. $\frac{\varepsilon_0 l B}{\sigma}$ B. $\frac{\varepsilon_0 l}{\sigma B}$ C. $\frac{\sigma B}{\varepsilon_0 l}$ D. $\frac{l \sigma}{\varepsilon_0 B}$



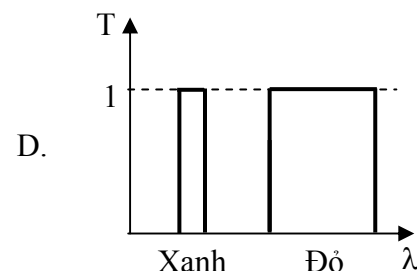
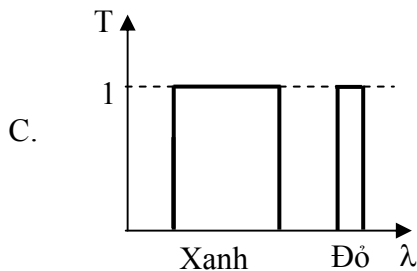
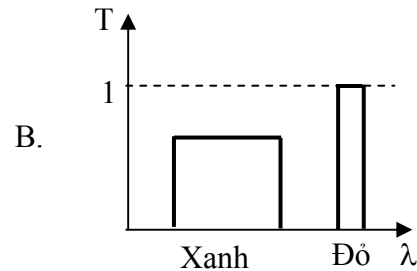
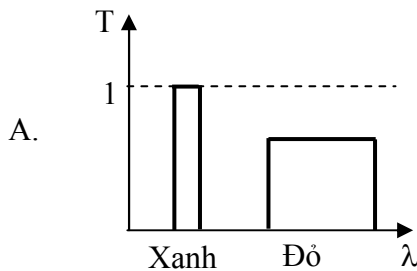
Đáp án: A

Điện trường trong tụ là $E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$. Để electron chuyển động thẳng, tốc độ v của nó phải thỏa

mãn $v = \frac{E}{B} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 B}$. Thời gian electron đi được quãng đường l là $t = \frac{l}{v} = \frac{\varepsilon_0 B l}{\sigma}$.

Câu 18

Một người có 10 bộ lọc giống hệt nhau. Khi cho ánh sáng trắng đi qua một bộ lọc, ánh sáng sẽ có màu đỏ. Nếu cho đi qua cả 10 bộ lọc, ánh sáng sẽ có màu xanh yếu. Đồ thị nào dưới đây mô tả đặc trưng truyền qua của một bộ lọc? (T là hệ số truyền qua của bộ lọc).



Đáp án: A

Khi ánh sáng trắng đi qua bộ lọc có đặc trưng truyền qua trên đồ thị A, ánh sáng truyền qua có bước sóng trong vùng xanh và đỏ. Mặc dù bộ lọc có hệ số truyền qua nhỏ hơn 1 đối với ánh sáng có bước sóng trong vùng đỏ nhưng vì khoảng bước sóng này rộng nên cường độ ánh

sáng truyền qua tổng cộng có màu đỏ lớn hơn ánh sáng màu xanh. Kết quả là ánh sáng truyền qua bộ lọc đầu tiên sẽ có màu đỏ.

Mỗi lần đi qua bộ lọc tiếp theo, cường độ tổng cộng của ánh sáng màu xanh không đổi, còn cường độ tổng cộng của ánh sáng màu đỏ lại giảm. Do đó, sau khi đi qua 10 bộ lọc, ánh sáng màu đỏ có cường độ rất nhỏ so với màu xanh. Kết quả là ánh sáng truyền qua sẽ có màu xanh.

Câu 19

Một giọt thủy ngân hình cầu bán kính R có điện dung C_0 . Nếu kết hợp hai giọt như vậy thành một giọt lớn hơn cũng hình cầu thì điện dung C của giọt lớn bằng bao nhiêu?

- A. $\sqrt{2}C_0$ B. $\sqrt[3]{2}C_0$ C. $\sqrt{3}C_0$ D. $\sqrt[3]{3}C_0$

Đáp án: B

Điện dung của giọt thủy ngân hình cầu bán kính R là $C_0 = 4\pi\epsilon_0 R$. Hai giọt thủy ngân bán kính R kết hợp lại tạo thành giọt thủy ngân có bán kính $\sqrt[3]{2}R$. Do đó giọt thủy ngân lớn có điện dung $C = \sqrt[3]{2}C_0$.

Câu 20

Thể tích một bọt khí tăng gấp đôi khi nổi từ đáy hồ lên đến mặt nước. Xem chất khí là khí lý tưởng, bỏ qua mọi sự thay đổi về nhiệt độ và lấy khối lượng riêng của nước là $d = 1000 \text{ kg/m}^3$. Độ sâu của hồ khoảng

- A. 21 m B. 10 m C. 5,2 m D. 1,4 m

Đáp án: B

Ký hiệu P là áp suất khí trong bọt khí, V là thể tích bọt khí ở đáy hồ, P_0 là áp suất khí quyển tại mặt hồ. Bỏ qua sức căng mặt ngoài, vì nhiệt độ không đổi, ta có $PV = 2P_0V$, hay $P = 2P_0$. Mặt khác, $P = P_0 + dgh$, trong đó g là gia tốc trọng trường, h là độ sâu của hồ. Suy ra $h = P_0/(dg)$. Thay giá trị số, ta nhận được $h \approx 10 \text{ m}$.

PHẦN GIẢI BÀI TẬP

(180 phút không kể thời gian phát đề)

Câu 1

Một khối khí lý tưởng gồm N nguyên tử nằm trong thể tích V , ở trạng thái cân bằng nhiệt ứng với nhiệt độ T_1 , hoàn toàn cô lập với môi trường bên ngoài. Giả sử tại thời điểm $t=0$ tất cả các nguyên tử có động năng $\frac{1}{2}mv^2 > \varepsilon kT_1$ (m là khối lượng của nguyên tử, k là hằng số Boltzmann, $\varepsilon > 0$ là hằng số) thoát ra ngoài thể tích V . Sau đó, số nguyên tử còn lại sẽ dần trở về trạng thái cân bằng nhiệt ứng với nhiệt độ T_2 .

- Hãy xác định nhiệt độ T_2 như là hàm của ε .
- Tìm biểu thức của T_2 ở giới hạn $\varepsilon \gg 1$ và $\varepsilon \ll 1$.

Gợi ý:

- Xác xuất hệ có năng lượng E khi ở trạng thái cân bằng nhiệt với nhiệt độ T là $W = Ae^{-\frac{E}{kT}}$, trong đó A là hệ số chuẩn hóa.

- $$\int_0^{\infty} dx x^{n+\frac{1}{2}} e^{-x} = \frac{\sqrt{\pi}}{2^{n+1}} (2n+1)!!$$

Bài giải

a. Ký hiệu N_1 và N_2 lần lượt là số nguyên tử trong khối khí lúc ban đầu và lúc cuối ở thể tích V , E_1 và E_2 là năng lượng tương ứng của khối khí. Ta có

$$E_1 = \frac{3}{2} N_1 k T_1, \quad E_2 = \frac{3}{2} N_2 k T_2.$$

Suy ra

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{N_1}{N_2} \frac{E_2}{E_1}.$$

Mặt khác, ta có

$$E_1 = \frac{\int_0^{\infty} dv \frac{1}{2} m v^4 e^{-\frac{mv^2}{2kT_1}}}{\int_0^{\infty} dv v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT_1}}}, \quad E_2 = \frac{\int_0^{v_0} dv \frac{1}{2} m v^4 e^{-\frac{mv^2}{2kT_1}}}{\int_0^{\infty} dv v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT_1}}},$$

$$N_1 = N, \quad N_2 = N \frac{\int_0^{v_0} dv v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT_1}}}{\int_0^{\infty} dv v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT_1}}}.$$

Do đó,

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{\int_0^{\infty} dv v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT_1}}}{\int_0^{v_0} dv v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT_1}}} \frac{\int_0^{v_0} dv v^4 e^{-\frac{mv^2}{2kT_1}}}{\int_0^{\infty} dv v^4 e^{-\frac{mv^2}{2kT_1}}}$$

hay

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{\int_0^{\infty} dx x^{1/2} e^{-x}}{\int_0^{x_0} dx x^{1/2} e^{-x}} \frac{\int_0^{x_0} dx x^{3/2} e^{-x}}{\int_0^{\infty} dx x^{3/2} e^{-x}}$$

với $x_0 = \frac{mv_0^2}{2kT_1}$, $v_0 = \sqrt{\frac{2\varepsilon kT_1}{m}} \Rightarrow x_0 = \varepsilon$. Cuối cùng, ta nhận được

$$T_2 = \frac{2}{3} T_1 \frac{\int_0^{\varepsilon} dx x^{3/2} e^{-x}}{\int_0^{\varepsilon} dx x^{1/2} e^{-x}}.$$

b. Nếu $\varepsilon \ll 1$, ta có thể lấy $e^{-x} \approx 1$. Khi đó

$$T_2 = \frac{2}{5} \varepsilon T_1.$$

Nếu $\varepsilon \gg 1$, ta có

$$\int_0^{\varepsilon} dx x^{1/2} e^{-x} = \frac{2}{3} x^{3/2} e^{-x} \Big|_0^{\varepsilon} + \frac{2}{3} \int_0^{\varepsilon} dx x^{3/2} e^{-x} = \frac{2}{3} \varepsilon^{3/2} e^{-\varepsilon} + \frac{2}{3} \int_0^{\varepsilon} dx x^{3/2} e^{-x}.$$

Do đó

$$T_2 = \frac{2}{3} T_1 \frac{\int_0^{\varepsilon} dx x^{3/2} e^{-x}}{\int_0^{\varepsilon} dx x^{1/2} e^{-x}} = T_1 \frac{\int_0^{\varepsilon} dx x^{3/2} e^{-x}}{\varepsilon^{3/2} e^{-\varepsilon} + \int_0^{\varepsilon} dx x^{3/2} e^{-x}}$$

$$= T_1 \left[1 - \frac{\varepsilon^{3/2} e^{-\varepsilon}}{\int_0^\varepsilon dx x^{3/2} e^{-x}} \right] \approx T_1 \left[1 - \frac{4}{3\sqrt{\pi}} \varepsilon^{3/2} e^{-\varepsilon} \right].$$

Trong tích phân cuối cùng, ta đã thay cận trên $\varepsilon \rightarrow \infty$.

Câu 2

Giả sử miền không gian $x > 0$ bị lấp đầy bởi vật liệu có chiết suất $n(x)$ thay đổi theo tọa độ x . Một tia sáng truyền theo phương lập góc α_0 so với trục x đi vào môi trường nói trên.

- a. Chứng minh rằng bán kính R của quỹ đạo tia sáng tại điểm $x > 0$ thỏa mãn hệ thức

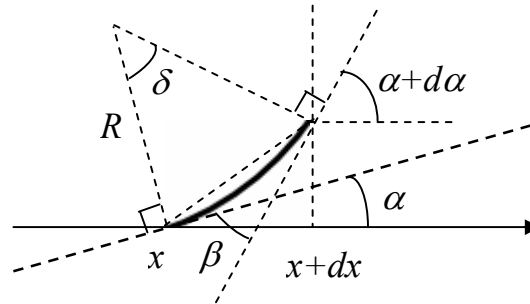
$$R \, d\alpha = \frac{dx}{\cos \alpha},$$

trong đó α là góc giữa phương truyền của tia sáng tại điểm x với trục x .

- b. Hãy tìm biểu thức xác định bán kính quỹ đạo của tia sáng như là hàm của x bên trong môi trường.
c. Chiết suất $n(x)$ phụ thuộc vào x như thế nào để phần quỹ đạo cong của tia sáng trong miền $x > 0$ có dạng tròn? Trong trường hợp này, tia sáng đi vào môi trường đến độ sâu bao nhiêu? Hãy phác họa đường đi của tia sáng.

Bài giải

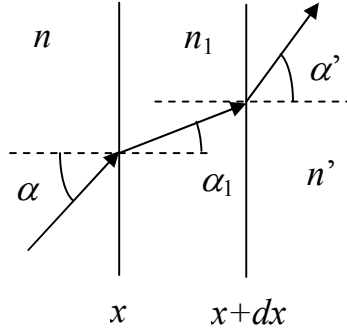
a.



Xét quỹ đạo của tia sáng trong khoảng $(x, x+dx)$. Với dx rất nhỏ, có thể xem đoạn quỹ đạo này có dạng tròn và độ dài cung tròn này gần bằng độ dài dây cung tương ứng (xem hình vẽ). Góc giữa trục x với tiếp tuyến của quỹ đạo tại điểm x là α , tại điểm $x+dx$ là $\alpha+d\alpha$. Dễ dàng thấy $\delta = \beta = d\alpha$. Ta có

$$R \delta = R d\alpha = \frac{dx}{\cos \alpha}.$$

- b. Xét một lớp mỏng độ dày dx có bề mặt vuông góc với trục x . Có thể xem lớp vật liệu này là đồng nhất có chiết suất n_1 .



Tia sáng đi tới lớp mỏng dưới góc tới α và đi ra dưới góc α' . Ta có

$$\begin{aligned} n = n(x) \quad , \quad n' = n(x+dx) \quad , \quad \alpha' = \alpha + d\alpha \\ \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_1} = \frac{n_1}{n} \quad , \quad \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha'} = \frac{n'}{n_1} \end{aligned} \quad (1)$$

Do đó,

$$n \sin \alpha = n' \sin \alpha' \quad \text{hay} \quad n \cos \alpha \, d\alpha = -\sin \alpha \, \frac{dn}{dx} dx \quad (2)$$

Mặt khác, bán kính quỹ đạo R tại x thỏa mãn hệ thức

$$R \, d\alpha = \frac{dx}{\cos \alpha} \quad (3)$$

Từ (2) và (3) suy ra

$$\frac{1}{R} = -\frac{1}{n} \frac{dn}{dx} \sin \alpha = -n_0 \sin \alpha_0 \frac{1}{n^2} \frac{dn}{dx} = n_0 \sin \alpha_0 \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{n(x)} \right) \quad (4)$$

Ở đây, n_0 và α_0 là chiết suất và góc tới của tia sáng tại bề mặt $x = 0$.

c. Quỹ đạo của tia sáng trong môi trường có dạng tròn nếu $1/R = \text{const}$. Khi đó

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{1}{n(x)} \right) = K \quad \text{hay} \quad \frac{1}{n(x)} = Kx + A \quad (5)$$

với K và A là các hằng số, K có thứ nguyên (1/độ dài). Vậy

$$n(x) = \frac{n_0}{Kn_0x + 1} \quad (6)$$

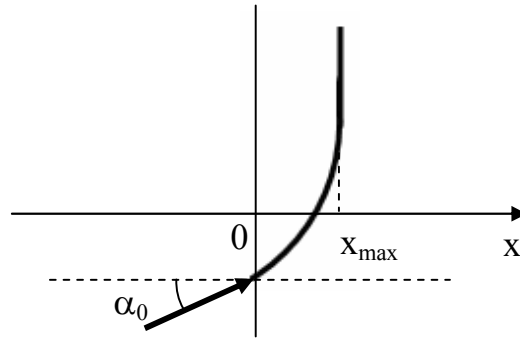
Nếu $K > 0$, khi x tăng thì $n(x)$ giảm. Theo (2) ta có $n \sin \alpha = \text{const}$, suy ra $\sin(\alpha)$ tăng. Do đó, tại khoảng cách lớn nhất $x_{\max}$ mà tia sáng đi vào môi trường thì $\alpha = 90^\circ$. Chiết suất tại điểm này có giá trị $n = n_0 \sin \alpha_0$. Thay vào (6), ta có

$$n_0 \sin \alpha_0 = \frac{n_0}{Kn_0x_{\max} + 1} \quad (7)$$

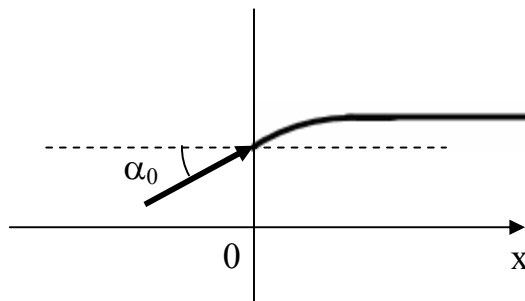
suy ra

$$x_{\max} = \frac{1}{Kn_0} \left(\frac{1}{\sin \alpha_0} - 1 \right) \quad (8)$$

Khi đó đường đi của tia sáng có dạng



Nếu $K < 0$, $n(x)$ tăng khi x tăng, do đó $\sin(\alpha)$ giảm. Giá trị nhỏ nhất của α là 0. Khi đó tia sáng truyền song song với trục x và không bị khúc xạ. Trong trường hợp này tia sáng đi vào môi trường ra xa vô cùng. Đường đi của tia sáng có dạng



Câu 3

Photon có động lượng $\vec{p}_1$ va chạm với electron đứng yên ($\vec{p}_2 = 0$). Khi đó, có thể xảy ra hai quá trình:

- Photon bị tán xạ, bay ra với động lượng $\vec{p}'_1$ theo phương lập góc ϑ với phương của $\vec{p}_1$, còn electron thì chuyển động với động lượng $\vec{p}'_2$ theo phương lập góc φ với $\vec{p}_1$. Hãy biểu diễn $|\vec{p}'_1|$, $|\vec{p}'_2|$ và φ qua $|\vec{p}_1|$ và ϑ .
- Photon bị hủy và sinh ra một cặp electron + positron. Như vậy, sau quá trình va chạm, có ba hạt tự do có cùng khối lượng nghỉ m . Hãy xác định năng lượng tối thiểu của photon để quá trình này có thể xảy ra.

Bài giải

- Định luật bảo toàn năng lượng và xung lượng cho các phương trình

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2 \quad , \quad (1)$$

$$cp_1 + mc^2 = cp'_1 + c\sqrt{(p'_2)^2 + (mc)^2} \quad , \quad (2)$$

hay

$$p_1 = p'_1 \cos \vartheta + p'_2 \cos \varphi \quad ,$$

$$p_1' \sin \vartheta = p_2' \sin \varphi \quad ,$$

$$(p_1 + mc - p_1')^2 = (p_2')^2 + (mc)^2 \quad .$$

Từ đó ta nhận được

$$p_1' = p_1 mc [mc + p_1(1 - \cos \vartheta)]^{-1} \quad , \quad (3)$$

$$\tan \varphi = p_1' \sin \vartheta / [p_1 - p_1' \cos \vartheta] \quad , \quad (4)$$

$$p_2' = [p_1 - p_1' \cos \vartheta] / \cos \varphi \quad . \quad (5)$$

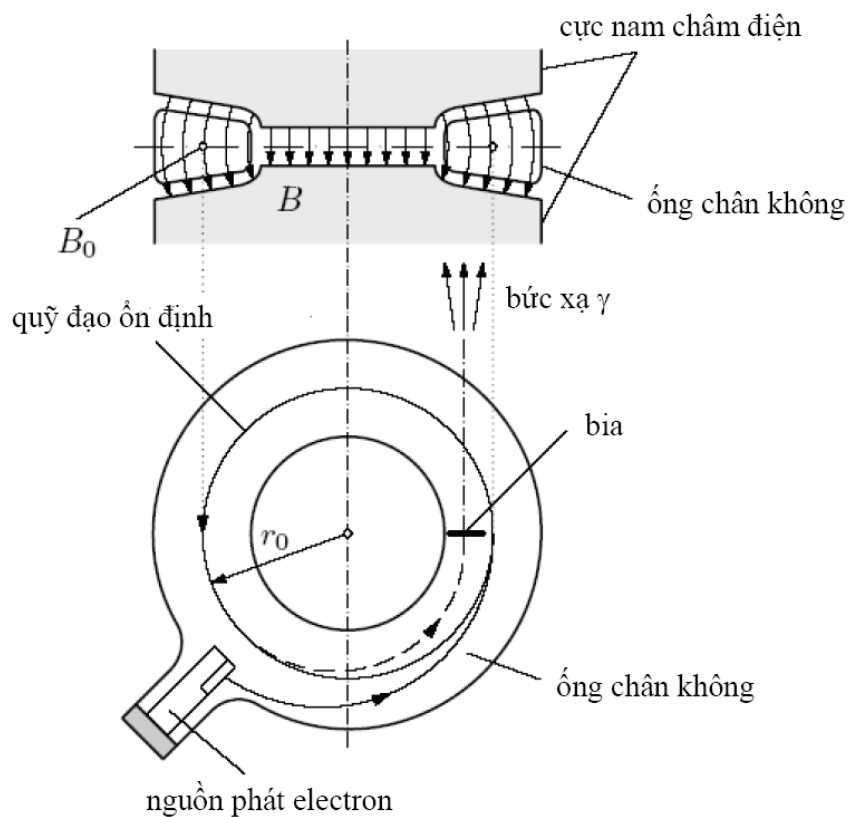
b. Năng lượng cực tiểu của hệ ba hạt sau va chạm được xác định trong hệ quy chiếu khối tâm S' . Năng lượng đó là $E_{\min} = 3mc^2$. Khi đó, cả ba hạt đều đứng yên trong hệ quy chiếu S' . Trong hệ quy chiếu phòng thí nghiệm S , ba hạt có cùng xung lượng $p = p_1/3$. Theo định luật bảo toàn năng lượng ta có

$$cp_1 + mc^2 = 3[(p_1c/3)^2 + (mc^2)^2]^{1/2} \quad . \quad (6)$$

Do đó, năng lượng tối thiểu của photon E_{ph} là

$$E_{\text{ph}} = cp_1 = 4 mc^2 \quad . \quad (7)$$

Câu 4 Máy gia tốc betatron



Betatron là một loại máy gia tốc tròn dùng để gia tốc electron, có thể cho các chùm electron năng lượng cao lên tới 300 MeV (rất lớn so với năng lượng nghỉ của

electron $m_e c^2 = 0,51 \text{ MeV}$). Trên hình vẽ là sơ đồ máy gia tốc betatron. Từ trường của nam châm điện tăng lên có tác dụng làm tăng tốc độ của electron đồng thời giữ cho electron chuyển động theo quỹ đạo tròn bán kính r_0 . Đó là nguyên tắc làm việc của betatron.

Từ trường của nam châm điện không đồng nhất và có đối xứng trục. Trục đối xứng của từ trường đi qua tâm và vuông góc với mặt phẳng quỹ đạo tròn của electron. Trên mặt phẳng này (được chọn là mặt $z=0$), từ trường không có thành phần hướng tâm, tức là $\vec{B}(r, z=0) = B(r)\vec{z}$, trong đó $\vec{z}$ là véc tơ đơn vị hướng theo trục z , r là khoảng cách đến trục đối xứng. Giả sử tại thời điểm ban đầu $t = 0$, electron đứng yên và từ trường bằng 0.

- Tìm mối quan hệ giữa động lượng p của electron và bán kính quỹ đạo r_0 .
- Chứng minh rằng để giữ cho electron chuyển động theo quỹ đạo tròn có bán kính r_0 không đổi mà vẫn được gia tốc, cần thỏa mãn điều kiện

$$B(r_0, t) = \frac{1}{2} \bar{B}(t) \quad ,$$

trong đó $B(r_0) \equiv B_0$ là giá trị từ trường trên quỹ đạo tròn, $\bar{B}$ là giá trị trung bình của từ trường xét trên toàn bộ diện tích S giới hạn bởi quỹ đạo đó,

$$\bar{B} = \frac{1}{S} \oint_S B(r) dS \quad .$$

Điều kiện này được gọi là điều kiện Wideroe hay điều kiện betatron.

Bài giải

- Để giữ electron chuyển động theo quỹ đạo tròn bán kính r_0 không đổi, lực từ tác dụng lên electron phải cân bằng với lực ly tâm:

$$|evB(r_0, t)| = m_e \gamma \frac{v^2}{r_0} \quad , \quad (1)$$

trong đó v và m_e lần lượt là tốc độ và khối lượng nghỉ của electron,

$$\gamma = 1 / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad .$$

Do đó, động lượng của electron liên hệ với bán kính quỹ đạo bởi biểu thức

$$p(t) = \gamma m_e v = |er_0 B(r_0, t)| \quad . \quad (2)$$

Rõ ràng là khi p tăng, từ trường B cũng phải tăng để bán kính quỹ đạo r_0 không thay đổi.

- Khi từ trường thay đổi, trên quỹ đạo của electron có suất điện động cảm ứng U

$$|U| = \left| \frac{d\Phi}{dt} \right| = \left| \oint_S \frac{d\vec{B}}{dt} \cdot d\vec{S} \right| = \left| \oint_S \frac{dB(r)}{dt} dS \right| = \pi r_0^2 \left| \frac{d\bar{B}(t)}{dt} \right|. \quad (3)$$

Mặt khác, ký hiệu $\vec{E}$ là điện trường xoáy tạo bởi từ trường biến thiên, ta có

$$|U| = \left| \oint_C \vec{E} d\vec{s} \right| = 2\pi r_0 E(r_0, t). \quad (4)$$

Ở đây, C ký hiệu quỹ đạo của electron. Do đối xứng, điện trường $\vec{E}$ có phương tiếp tuyến với quỹ đạo của electron. So sánh (3) và (4) ta nhận được

$$E(r_0, t) = \frac{1}{2} r_0 \left| \frac{d\bar{B}(t)}{dt} \right|. \quad (5)$$

Phương trình chuyển động của electron là

$$\left| \frac{dp}{dt} \right| = |eE(r_0, t)|. \quad (6)$$

Từ các phương trình (2), (5) và (6), ta có

$$\left| \frac{dB(r_0, t)}{dt} \right| = \frac{1}{2} \left| \frac{d\bar{B}(t)}{dt} \right| \quad \text{hay} \quad B(r_0, t) = \frac{1}{2} \bar{B}(t). \quad (7)$$

OLYMPIC VẬT LÝ SINH VIÊN TOÀN QUỐC LẦN THỨ XX
ĐỀ THI THỰC NGHIỆM
Thời gian: 180 phút

KHẢO SÁT ĐẶC TRƯNG QUANG ĐIỆN CỦA LAZE BÁN DẪN

I. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Ánh sáng là sóng điện từ ngang, điện trường của nó nằm trong mặt phẳng vuông góc với phương lan truyền và điện trường dao động đều theo các phương còn ánh sáng phân cực thẳng (phân cực toàn phần) là ánh sáng trong đó dao động sáng chỉ được thực hiện trong một mặt phẳng nhất định chứa tia sáng.

Laze bán dẫn (còn gọi là laze điốt) có cấu tạo tương tự điốt phát quang nhưng có thêm các bộ phận để phát ra ánh sáng cực mạnh theo cơ chế khuếch đại ánh sáng bằng bức xạ kích thích.

Trong thí nghiệm này chúng ta sẽ khảo sát các đặc trưng của laze bán dẫn và ánh sáng do laze bán dẫn phát ra.

Nguồn sáng: laze bán dẫn

Nguồn sáng trong thí nghiệm này là một laze bán dẫn. Phân cực thuận laze bán dẫn (cấp nguồn: (+) vào chân đỏ, (-) vào chân đen) và tăng dần hiệu điện thế, ban đầu cường độ ánh sáng phát ra rất yếu, dòng điện qua laze bán dẫn vẫn nhỏ. Tăng dần hiệu điện thế đến một ngưỡng nào đó thì cơ chế phát ra ánh sáng kiểu laze bắt đầu xảy ra và dòng điện qua laze lúc này tăng nhanh. Dòng điện ứng với quá trình phát laze bắt đầu xảy ra là dòng điện ngưỡng. Trên dòng ngưỡng, cường độ ánh sáng tăng rất mạnh khi dòng điện tăng, và tỉ lệ với cường độ dòng điện. Nếu cường độ dòng điện tăng nữa, thì tốc độ tăng của cường độ sáng theo dòng điện giảm đi do laze bán dẫn bị nóng lên. Vì vậy khoảng cường độ dòng điện tối ưu cho hoạt động của laze bán dẫn là khu vực mà ở đó cường độ sáng phụ thuộc tuyến tính vào cường độ dòng điện.

Hiệu suất phát quang của laze được định nghĩa là tỉ số giữa công suất quang phát ra và công suất điện cung cấp.

Trong thí nghiệm, ở đầu phát laze có núm xoay nhẹ có thể dùng để chỉnh độ hội tụ cho chùm laze phát và để chỉnh hướng laze. Khi làm thí nghiệm nên hiệu chỉnh sao chùm laze chiếu đúng vào đầu thu quang.

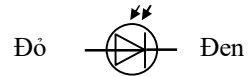
Đầu thu quang: Linh kiện photodiốt

Linh kiện thu quang là một photodiốt dùng để chuyển đổi photon ánh sáng thành điện theo hiệu ứng quang điện. Photodiốt có cấu tạo tương tự kiểu điốt và có hai chế độ làm việc là chế độ quang thế và chế độ quang dẫn.

Ở chế độ quang thế, ánh sáng chiếu vào sẽ sinh ra hiệu điện thế hở mạch. Khi số photon chiếu vào bề mặt photodiốt còn ít thì hiệu điện thế hở mạch sinh ra sẽ tỉ lệ tuyến tính với cường độ chiếu sáng. *Khi cường độ chiếu sáng lớn thì hiệu điện thế hở mạch sinh ra sẽ không còn tỉ lệ tuyến tính nữa.*

Ở chế độ quang dẫn, photodiốt là việc ở chế độ phân cực ngược. Photon chiếu sáng đến bị hấp thụ làm phát sinh các điện tử và lỗ trống, các hạt mang điện này đóng góp chủ yếu vào thành phần dòng điện trong mạch. Do đó có thể coi dòng điện trong mạch là dòng gây bởi các photon ánh sáng. *Dòng điện này tỉ lệ tuyến tính với cường độ ánh sáng.*

Trong thí nghiệm, đầu thu quang được hàn dây để nối ra 2 chân đỏ và đen tách biệt như hình bên. Đầu thu quang này không phụ thuộc vào sự phân cực của ánh sáng mà chỉ phụ thuộc vào cường độ ánh sáng.



II. DỤNG CỤ THỰC HÀNH

1. Danh sách các dụng cụ

STT	Dụng cụ	Số lượng
1	Hệ quang gồm ray, 1 đầu phát laze, 1 đầu thu quang	01
2	Hộp nguồn và mạch điện	01
3	Adapter 5V, 1A cho 2	01
4	Biến trở 4,7 K Ω	01

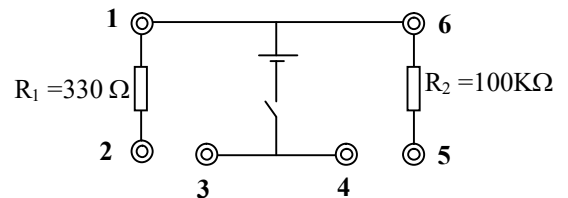
STT	Dụng cụ	Số lượng
5	Kính phân cực	02
6	Đồng hồ đo điện vạn năng ký hiệu đánh số 1 và 2	02
7	Dây nối điện	09
8	Vít M6 (gài trên ray)	01

2. Thông tin về các linh kiện và dụng cụ

2.1. Hệ quang: Đầu phát laze, Đầu thu quang, Ray quang học

2.2. Hộp nguồn và mạch điện

Khi sử dụng adapter 3 để nuôi cho hộp 2 (*cắm vào lỗ cạnh bên hộp*), khi đó sơ đồ mắc mạch của hộp nguồn như hình bên. Bật công tắc nếu đèn sáng chứng tỏ hộp 2 hoạt động tốt.



2.3. Kính phân cực

Dụng cụ 5 bao gồm kính phân cực được gắn chặt với núm xoay. Khi xoay núm thì kính phân cực bị xoay theo. Núm xoay được khắc chia vạch đều quanh núm với tổng số khoảng là 180. Như vậy ứng với mỗi vạch chia nhỏ là 2^0 . Để cố định cơ cấu (5) lên thanh ray ta sử dụng vít M6 (8) để gá (trong khe của ray đã có sẵn phụ kiện bắt vít M6).

2.4. Biến trở

Biến trở 4 có 3 chốt đầu ra tương ứng với 3 màu **Đen, Xanh, Đỏ**. Khi xoay núm biến trở thuận chiều kim đồng hồ thì điện trở giữa hai đầu **Đen** và **Xanh** tăng dần. Điện trở giữa hai đầu **Đen** và **Đỏ** luôn không đổi.

2.5. Đồng hồ đo điện

Hai đồng hồ đo điện vạn năng được đánh số 1 và 2. Đồng hồ 1 có thể sử dụng làm vôn kế hoặc ampe kế. Đồng hồ 2 chỉ dùng với chức năng làm vôn kế.

III. YÊU CẦU THỰC HÀNH

1. Khảo sát đặc trưng vôn – ampe của đầu phát laze khi phân cực thuận

- Vẽ sơ đồ bố trí thí nghiệm.
- Trình bày bảng số liệu đo khảo sát đặc trưng vôn – ampe khi phân cực thuận laze.
- Vẽ đồ thị đặc trưng vôn – ampe của laze khi phân cực thuận

- Trình bày cách xác định bước sóng của laze từ đặc trưng vôn – ampe và tính bước sóng của laze.

2. Xác định các đặc trưng quang điện của laze

- Vẽ sơ đồ mắc mạch để khảo sát dạng đặc tuyến về mối quan hệ giữa cường độ sáng theo dòng nuôi laze.

- Trình bày bảng số liệu thu thập, cách xử lý số liệu và bảng số liệu xử lý.

- Vẽ đồ thị mô tả dạng đặc tuyến về mối quan hệ giữa cường độ sáng theo dòng nuôi laze từ đó xác định giá trị khoảng cường độ dòng điện nuôi tối ưu cho hoạt động của laze.

- Vẽ đồ thị mô tả dạng đặc tuyến về hiệu suất phát quang của laze theo công suất nuôi laze và chỉ ra giá trị công suất nuôi laze để hiệu suất phát quang của laze đạt cực đại.

3. Khảo sát đặc tính ánh sáng của tia laze

Trong phần này ta khảo sát đặc tính ánh sáng của laze thông qua việc xoay mặt phẳng phân cực của kính phân cực.

Lắp giá đỡ kính phân cực lên ray quang học và gá chặt bằng vít M6. Hãy chú ý cần để kính phân cực vuông góc với chùm sáng phát ra từ tia laze. Nên để kính phân cực gần giữa chiều dài ray quang học. Để khảo sát đặc tính ánh sáng của tia laze, ánh sáng phát ra từ laze cần giữ ổn định. Xoay nhẹ núm xoay của kính phân cực và quan sát ánh sáng sau khi qua kính phân cực sao cho ánh sáng yếu nhất, lấy vị trí đó làm mốc ban đầu cho quá trình khảo sát cường độ ánh sáng qua kính theo góc xoay của kính phân cực.

- Vẽ sơ đồ mắc mạch điện bố trí thí nghiệm.

- Trình bày bảng số liệu đo và bảng xử lý số liệu.

- Dựng đồ thị mô tả dạng tương quan của cường độ sáng sau khi qua kính theo góc xoay của kính phân cực.

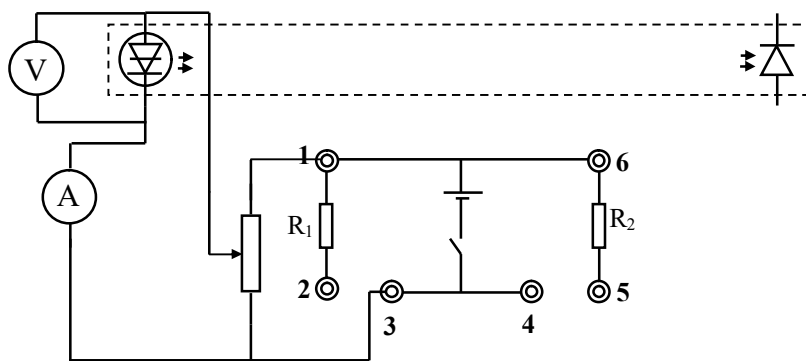
- Nhận xét về mức độ phân cực của ánh sáng phát ra từ đầu phát laze.

HẾT

HƯỚNG DẪN CHẤM THỰC NGHIỆM

Câu 1. Khảo sát đặc trưng vôn – ampe của đầu phát laze khi phân cực thuận (10 điểm)

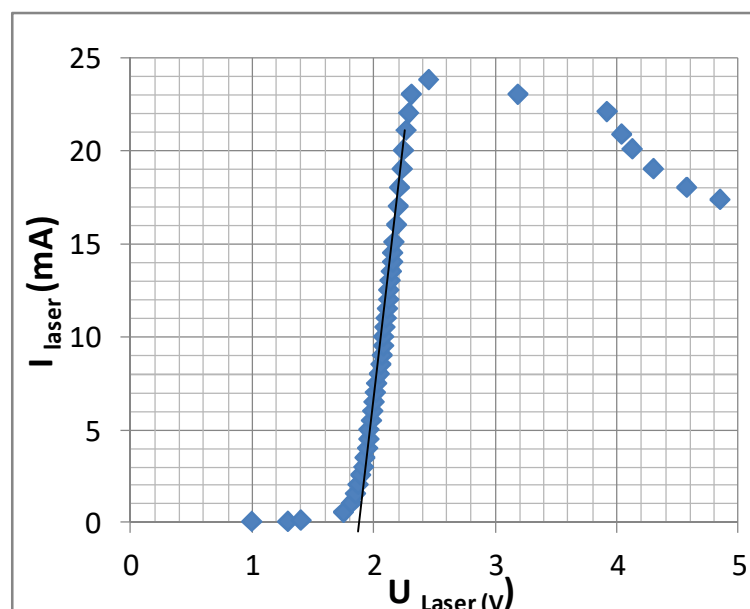
Sơ đồ bố trí thí nghiệm:



Bảng số liệu đo, đơn vị (đơn vị đo ghi trong dấu ngoặc).

I (mA)	U (V)	I (mA)	U (V)	I (mA)	U (V)	I (mA)	U (V)
0	1.00	11.5	2.12	5.0	1.97	20.0	2.25
0	1.30	12.0	2.13	5.5	1.99	21.1	2.27
0.1	1.41	12.5	2.13	6.0	2.00	22.0	2.29
0.5	1.76	13.0	2.14	6.5	2.01	23.0	2.31
1.0	1.82	13.5	2.15	7.0	2.02	23.8	2.46
1.5	1.86	14.0	2.16	7.5	2.03	23.0	3.19
2.0	1.88	14.5	2.16	8.0	2.05	22.1	3.92
2.5	1.90	15.1	2.17	8.5	2.06	20.9	4.04
3.0	1.92	16.0	2.19	9.0	2.07	20.1	4.13
3.5	1.93	17.0	2.20	9.5	2.08	19.0	4.31
4.0	1.95	18.0	2.22	10.0	2.09	18.0	4.58
4.5	1.96	19.0	2.24	10.5	2.10	17.4	4.85
5.0	1.97	20.0	2.25	11.0	2.11		

Đặc trưng vôn – ampe của laze khi phân cực thuận



Trình bày cách xác định bước sóng của lazer.

Để xác định bước sóng lazer cần xác định điện áp ngưỡng để phát lazer

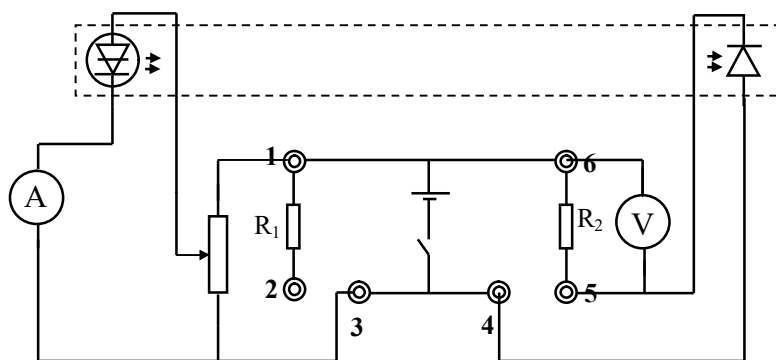
Điện áp ngưỡng nhận được từ đồ thị I-V bằng việc ngoại suy đoạn tuyến tính đến cắt trục hoành.

$$\text{Từ đó tính } eU_{ng} = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{eU_{ng}}$$

$$\text{Tính toán xác định bước sóng lazer. } U_{ng} = 1,90V \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{eU_{ng}} = 0,65\mu m$$

Câu 2. Xác định các đặc trưng quang điện của lazer

Sơ đồ mắc mạch để khảo sát đặc tuyến về mối quan hệ giữa cường độ sáng theo dòng nuôi lazer:



Bảng số liệu đo

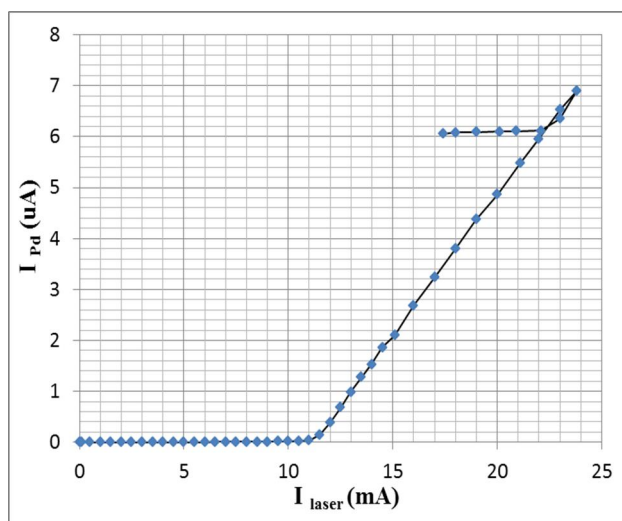
I (mA)	UR2 (mV)	I (mA)	UR2 (mV)	I (mA)	UR2 (mV)	I (mA)	UR2 (mV)
0	0	11.5	15.3	5.0	0.3	20.0	487
0	0	12.0	38.8	5.5	0.4	21.1	548
0.1	0	12.5	68.3	6.0	0.5	22.0	596
0.5	0	13.0	99.1	6.5	0.6	23.0	653
1.0	0	13.5	127.5	7.0	0.7	23.8	690
1.5	0	14.0	152.9	7.5	0.8	23.0	635
2.0	0	14.5	186.1	8.0	0.9	22.1	612
2.5	0	15.1	210.0	8.5	1.1	20.9	611
3.0	0	16.0	269.0	9.0	1.2	20.1	610
3.5	0	17.0	324.0	9.5	1.5	19.0	609
4.0	0.2	18.0	380.0	10.0	1.8	18.0	608
4.5	0.3	19.0	438.0	10.5	2.4	17.4	606
				11.0	3.7		

Bảng số liệu xử lý

I (mA)	U (V)	UR2 (mV)	Ipd (nA)	PLaze	Ipd/PLaze	I (mA)	U (V)	UR2 (mV)	Ipd (nA)	PLaze	Ipd/PLaze
4	1.95	0.2	0.002	7.8	0.025641	14	2.16	152.9	1.529	30.24	5.056217
4.5	1.96	0.3	0.003	8.82	0.034014	14.5	2.16	186.1	1.861	31.32	5.94189
5	1.97	0.3	0.003	9.85	0.030457	15.1	2.17	210	2.1	32.767	6.408887
5.5	1.99	0.4	0.004	10.945	0.036546	16	2.19	269	2.69	35.04	7.676941
6	2	0.5	0.005	12	0.041667	17	2.2	324	3.24	37.4	8.663102
6.5	2.01	0.6	0.006	13.065	0.045924	18	2.22	380	3.8	39.96	9.50951
7	2.02	0.7	0.007	14.14	0.049505	19	2.24	438	4.38	42.56	10.29135
7.5	2.03	0.8	0.008	15.225	0.052545	20	2.25	487	4.87	45	10.82222

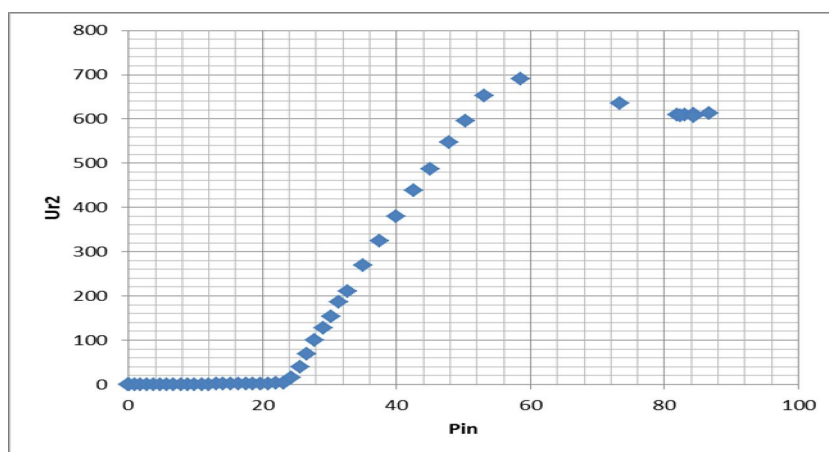
8	2.05	0.9	0.009	16.4	0.054878	21.1	2.27	548	5.48	47.897	11.44122
8.5	2.06	1.1	0.011	17.51	0.062821	22	2.29	596	5.96	50.38	11.83009
9	2.07	1.2	0.012	18.63	0.064412	23	2.31	653	6.53	53.13	12.29061
9.5	2.08	1.5	0.015	19.76	0.075911	23.8	2.46	690	6.9	58.548	11.7852
10	2.09	1.8	0.018	20.9	0.086124	23	3.19	635	6.35	73.37	8.654764
10.5	2.1	2.4	0.024	22.05	0.108844	22.1	3.92	612	6.12	86.632	7.064364
11	2.11	3.7	0.037	23.21	0.159414	20.9	4.04	611	6.11	84.436	7.23625
11.5	2.12	15.3	0.153	24.38	0.627564	20.1	4.13	610	6.1	83.013	7.348247
12	2.13	38.8	0.388	25.56	1.517997	19	4.31	609	6.09	81.89	7.436805
12.5	2.13	68.3	0.683	26.625	2.565258	18	4.58	608	6.08	82.44	7.375061
13	2.14	99.1	0.991	27.82	3.562185	17.4	4.85	606	6.06	84.39	7.180946
13.5	2.15	127.5	1.275	29.025	4.392765						

Đồ thị xử lý số liệu để xác định giá trị khoảng cường độ dòng điện nuôi tối ưu



Khoảng cường độ dòng điện nuôi tối ưu cho hoạt động của laze: 11,2 đến 23,8 mA

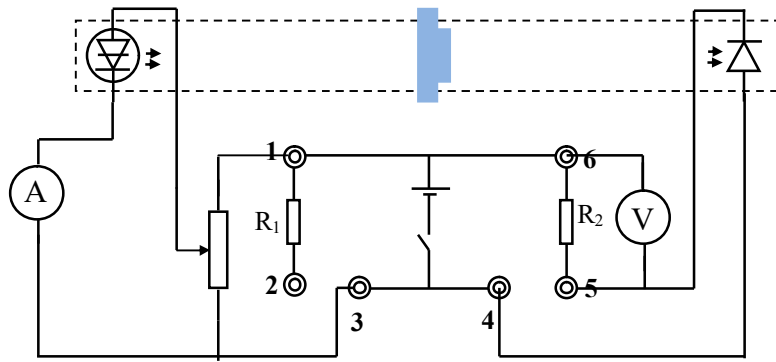
Đồ thị mô tả dạng đặc tuyến về hiệu suất phát quang của laze theo công suất nuôi laze



Giá trị công suất nuôi laze để hiệu suất phát quang của laze đạt cực đại: $P_{\text{laze}} = 58 \text{ mW}$

Câu 3. Khảo sát đặc tính ánh sáng của tia laze

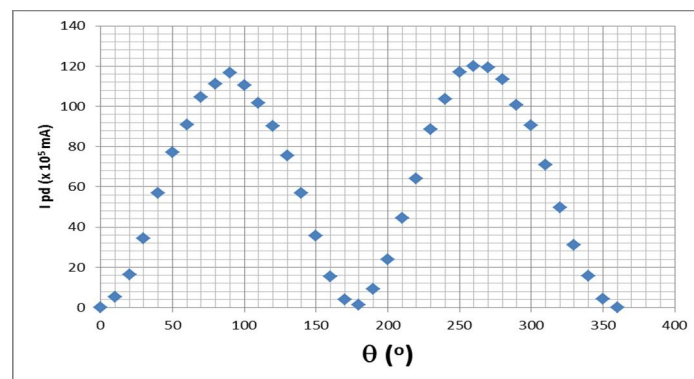
Sơ đồ bố trí thí nghiệm.



Bảng số liệu đo và bảng xử lý số liệu

Bảng số liệu đo				Bảng xử lý số liệu			
Góc xoay	U_{R2}	Góc xoay	U_{R2}	$\cos^2\theta$	I	$\cos^2\theta$	I
0	0.09	190	9.1	1	0.09	0.970419	9.1
10	5.4	200	23.8	0.969877	5.4	0.884157	23.8
20	16.5	210	44.4	0.883136	16.5	0.751607	44.4
30	34.4	220	64	0.75023	34.4	0.58874	64
40	56.9	230	88.7	0.587173	56.9	0.415181	88.7
50	77	240	103.7	0.413612	77	0.251841	103.7
60	91	250	117	0.25046	91	0.118403	117
70	104.5	260	120	0.117376	104.5	0.030945	120
80	111	270	119.2	0.030396	111	5.71E-06	119.2
90	116.7	280	113.4	6.34E-07	116.7	0.029312	113.4
100	110.4	290	100.6	0.029852	110.4	0.115333	100.6
110	101.8	300	90.7	0.116353	101.8	0.247705	90.7
120	90.1	310	71	0.249081	90.1	0.410476	71
130	75.5	320	49.6	0.412043	75.5	0.584034	49.6
140	57	330	31	0.585604	57	0.747467	31
150	35.5	340	15.6	0.74885	35.5	0.881082	15.6
160	15.4	350	4.2	0.882111	15.4	0.968778	4.2
170	4	360	0.09	0.96933	4	0.99999	0.09
180	1.3	190	9.1	0.999997	1.3	0.970419	9.1

Đồ thị mô tả dạng tương quan của cường độ sáng sau khi qua kính theo góc xoay của kính phân cực

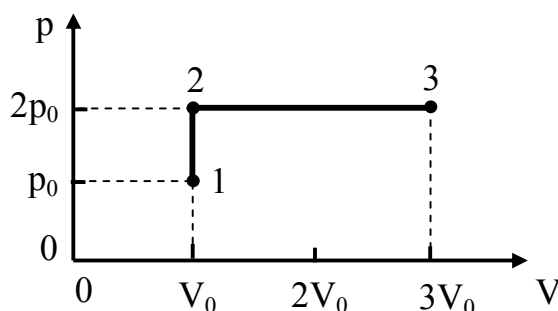


OLYMPIC VẬT LÝ SINH VIÊN TOÀN QUỐC LẦN THỨ XXI
ĐẠI HỌC ĐỒNG NAI – 2018

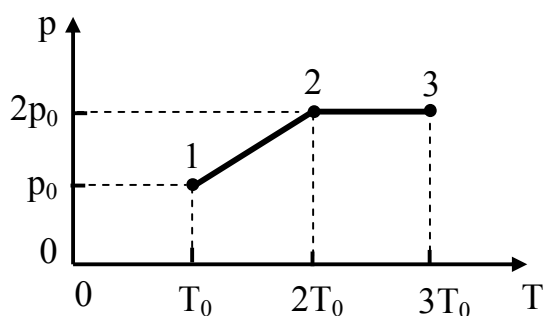
CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM

Câu 1

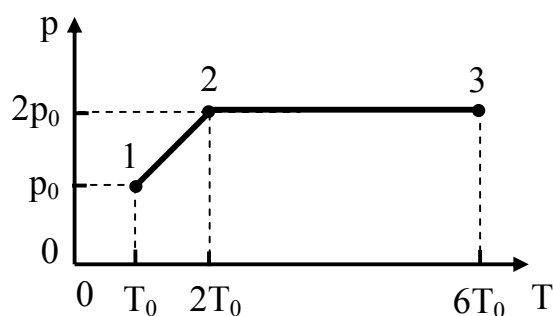
Một lượng không đổi khí lý tưởng ở nhiệt độ T_0 và áp suất p_0 thực hiện quá trình làm áp suất của nó thay đổi thành $2p_0$, sau đó thể tích của khối khí tăng từ V_0 lên $3V_0$, như được mô tả trên giản đồ p - V



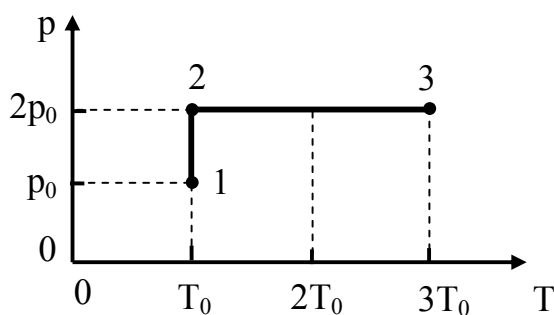
Giản đồ p - T nào dưới đây phản ánh đúng các quá trình trên?



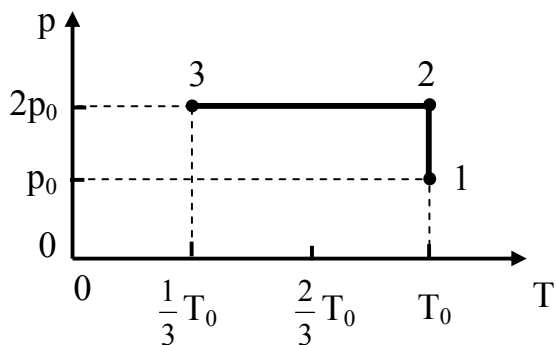
A



B



C



D

Đáp án : B

Theo giản đồ p - V , quá trình 1-2 là quá trình đẳng tích, do đó $p/T = \text{const}$. Áp suất tại điểm 2 là $p_2 = 2p_0$ nên nhiệt độ tương ứng là $T_2 = 2T_0$. Quá trình 2-3 là quá trình đẳng áp nên $V/T = \text{const}$. Thể tích tại điểm 3 là $V_3 = 3V_0$ nên nhiệt độ là $T_3 = 3T_2 = 6T_0$. Do đó giản đồ p - T của đáp án B phản ánh quá trình nói trên.

Câu 2

Một nguyên tử hydro đang ở trạng thái cơ bản chuyển động với động năng T đến và chạm với một nguyên tử deuterium (một đồng vị của hydro) đang đứng yên ở trạng thái cơ bản. Hỏi T phải có giá trị tối thiểu bằng bao nhiêu nếu trong quang phổ thu được có vạch sáng màu đỏ? Biết năng lượng ion hóa của nguyên tử hydro là $E = 13,6 \text{ eV}$.

- A. 27,2 eV
- B. 18,2 eV
- C. 15,4 eV
- D. 12,6 eV

Đáp án: B

Vạch màu đỏ (ứng với bước sóng cỡ 700 nm, năng lượng của photon khoảng 1,8 eV) được tạo thành khi nguyên tử hydro chuyển từ mức kích thích thứ 2 ($n=3$) về mức kích thích thứ nhất ($n=2$). Do đó, để trong quang phổ thu được có vạch màu đỏ thì ít nhất một trong hai nguyên tử phải bị kích thích lên mức $n=3$ có năng lượng $-E/3^2$.

Mặt khác theo định luật bảo toàn động lượng, động năng tối thiểu của hệ sau va chạm là

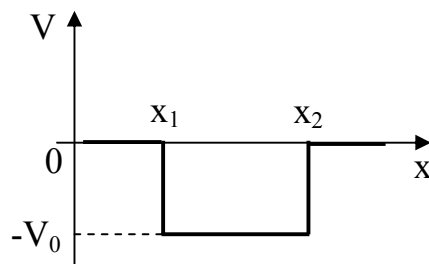
$$T' = 0,5p^2/(m_1 + m_2) = T/(1 + m_2/m_1) = T/3.$$

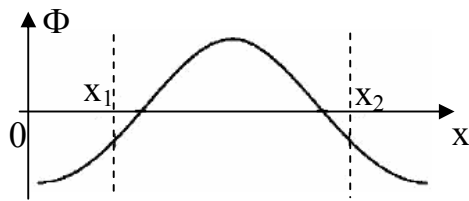
Do đó, để có được vạch phổ màu đỏ thì

$$T \geq T/3 - E/9 - (-E) \quad \text{hay} \quad T \geq 4E/3 = 18,2 \text{ eV}.$$

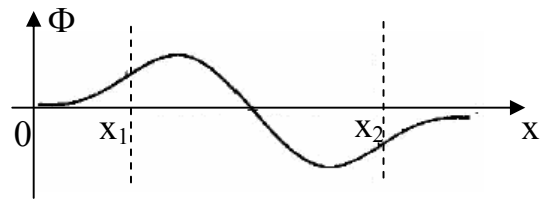
Câu 3

Một hạt chuyển động một chiều trong hố thế vuông có độ sâu hữu hạn V_0 như trên hình vẽ. Đồ thị nào dưới đây mô tả hàm sóng khả dĩ Φ của một trạng thái liên kết (trạng thái có năng lượng thuộc phổ gián đoạn) của hạt?

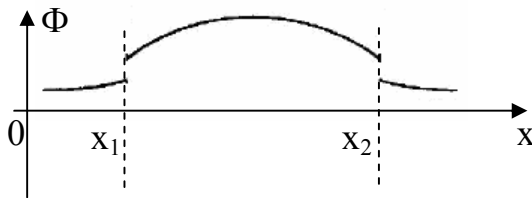




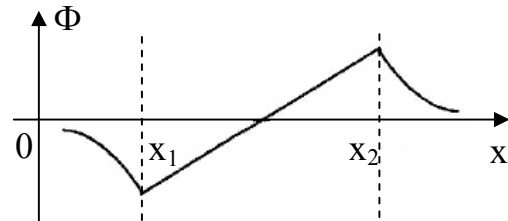
A



B



C



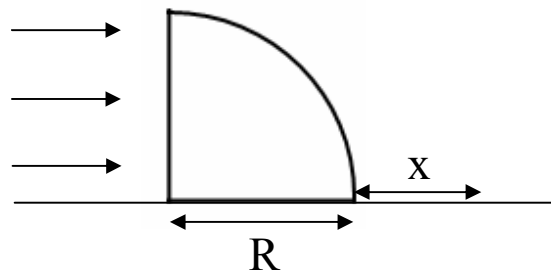
D

Đáp án : B

Hàm sóng của hạt chuyển động trong thế hữu hạn phải liên tục và có đạo hàm tại mọi điểm. Hơn nữa, hàm sóng trạng thái liên kết phải dần tới 0 khi $|x| \rightarrow \infty$. Đồ thị B thỏa mãn các điều kiện này.

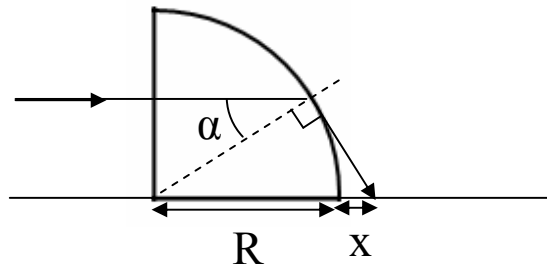
Câu 4

Một chùm ánh sáng song song truyền theo phương ngang đến lăng kính như trên hình vẽ. Lăng kính có dạng 1/4 hình trụ, có bán kính $R = 5 \text{ cm}$, và chiết suất $n = 1,5$. Một màn trên mặt bàn ở khoảng cách x tính từ lăng kính không được chiếu sáng. Giá trị của x là



- A. 1.71 cm B. 2.24 cm C. 2.50 cm D. 5.00 cm

Đáp án : A



Giá trị của x được xác định bởi điều kiện góc α bằng góc tới hạn của phản xạ toàn phần: $\sin \alpha = 1/n$. Do đó

$$x = \frac{R}{\cos \alpha} - R = R \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}} - 1 \right) = R \left(\frac{1}{\sqrt{1 - 1/n^2}} - 1 \right) = 1,71 \text{ cm}$$

Câu 5

Hai quả cầu dẫn điện giống hệt nhau có điện tích dương lần lượt là q_1 và q_2 , $q_1 \neq q_2$. Hai quả cầu được cho tiếp xúc với nhau và sau đó được đưa trở lại vị trí ban đầu của chúng. Lực tác dụng giữa các quả cầu

- A. Tương tự như trước khi chúng tiếp xúc với nhau.
- B. Lớn hơn trước khi chúng tiếp xúc với nhau.
- C. Nhỏ hơn trước khi chúng tiếp xúc với nhau.
- D. Không đủ căn cứ để kết luận.

Đáp án : B

Khi hai quả cầu tiếp xúc nhau, điện tích trên hai quả cầu phân bố lại cho đến khi điện tích trên hai quả cầu bằng nhau. Lực tác dụng giữa hai quả cầu tỷ lệ với tích $q_1 q_2$. Mặt khác, tổng $q_1 + q_2$ không đổi, nên tích $q_1 q_2$ lớn nhất khi $q_1 = q_2$. Vì vậy, phương án **B** đúng.

Câu 6

Xét một mẫu đồng ^{66}Cu tinh khiết. $7/8$ số nguyên tử của mẫu phân hủy thành Zn trong 15 phút. Chu kỳ bán rã của ^{66}Cu là

- A. 15 phút
- B. 10,4 phút
- C. 7,5 phút
- D. 5 phút

Đáp án : D

Ký hiệu T là chu kỳ bán rã. Số nguyên tử còn lại tại thời điểm t là

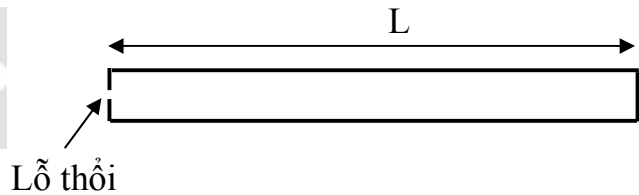
$$N(t) = N_0 e^{-\frac{t}{T} \ln 2}.$$

Do đó

$$\frac{1}{8} = e^{-\frac{15 \ln 2}{T}} \rightarrow T = 5 \text{ phút}.$$

Câu 7

Kèn clarinet là một nhạc cụ thuộc bộ hơi, có thể được mô hình hóa bởi một ống kín ở một đầu. Giả sử rằng các nút và các bụng sóng áp suất xuất hiện đúng ở đầu ống. Một kèn clarinet có tần số cơ bản là 130 Hz. Hỏi chiều dài của ống là bao nhiêu? Tốc độ của âm thanh trong không khí là 340 m/s.



- A. 1,308 m B. 0,654 m C. 0,981 m D. 0,872 m

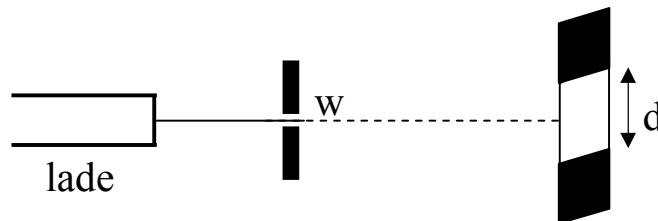
Đáp án : B

Khi ta thổi vào lỗ thổi, không khí trong ống dao động. Kèn phát ra âm thanh nếu dao động của không khí trong lòng ống tạo nên sóng đứng. Đối với ống kín một đầu, ta có biểu thức $L = n\lambda/4$, trong đó L là chiều dài ống, λ là bước sóng của âm phát ra, $n = 1, 3, 5, \dots$ chỉ bậc họa ba của âm phát ra.

Do đó $L = v/(4f) = 0,654 \text{ m}$.

Câu 8

Trong thí nghiệm nhiễu xạ qua một khe hẹp có độ rộng w , người ta thấy độ rộng của vạch sáng trung tâm là d . Nếu thay khe hẹp bằng một khe có độ rộng gấp đôi $2w$ thì kết luận nào sau đây về vạch sáng trung tâm đúng?



- A. Độ rộng là d nhưng cường độ sáng tăng gấp đôi.
B. Độ rộng là d nhưng cường độ sáng bằng một nửa.
C. Độ rộng khoảng $2d$.
D. Độ rộng khoảng $\frac{1}{2}d$

Đáp án: D

Trong nhiễu xạ qua khe hẹp, độ rộng d của vạch sáng trung tâm tỷ lệ với λ/w , trong đó λ là bước sóng ánh sáng. Do đó, nếu w tăng gấp đôi thì độ rộng d giảm đi một nửa.

Câu 9

Một xi-lanh kín đặt nằm ngang được chia làm hai phần bằng nhau bởi một pít tông cách nhiệt. Mỗi phần có chiều dài $l_0 = 30\text{cm}$, chứa một lượng khí giống nhau ở 27°C . Nung nóng một bên thêm 10°C và làm lạnh bên kia đi 10°C . Khi đó pít tông dịch chuyển một đoạn là bao nhiêu? Bỏ qua ma sát giữa pít tông và xi-lanh. Xem chất khí là khí lý tưởng.

A. 1cm

B. 2cm

C. 3cm

D. 4cm

Đáp án: A

Pít tông đứng yên (trước và sau khi dịch chuyển) khi áp suất của chất khí hai bên pít tông bằng nhau. Phương trình trạng thái cho khí ở mỗi bên xi-lanh là:

$$\text{Bên bị nung nóng:} \quad \frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P_1 V_1}{T_1} \quad (1)$$

$$\text{Bên bị làm lạnh:} \quad \frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (2)$$

Chỉ số 0 dùng để chỉ trạng thái ban đầu. Từ phương trình (1) và (2) và $P_1 = P_2$ suy ra $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$.

Gọi x là quãng đường pít tông dịch chuyển, ta có:

$$\frac{(l_0 + x)S}{T_1} = \frac{(l_0 - x)S}{T_2} \rightarrow x = \frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2} l_0$$

Thay giá trị số, ta nhận được $x = 1\text{ cm}$.

Câu 10

Dũng ngồi trên con tàu vũ trụ bay từ quả đất đến trạm vũ trụ với tốc độ rất lớn không đổi. Trạm vũ trụ đứng yên so với quả đất. Khi đi được đúng nửa đường, Dũng gửi cùng lúc hai tín hiệu vô tuyến, một tín hiệu hướng về trái đất cho An và một hướng về trạm vũ trụ cho Bắc.



Theo quan sát của Dũng, kết luận nào dưới đây đúng về thứ tự nhận được bức điện:

- A. An nhận được trước Bắc.
- B. Bắc nhận được trước An.
- C. An và Bắc nhận được cùng một lúc.
- D. Không kết luận được vì phụ thuộc vào tần số của sóng vô tuyến.

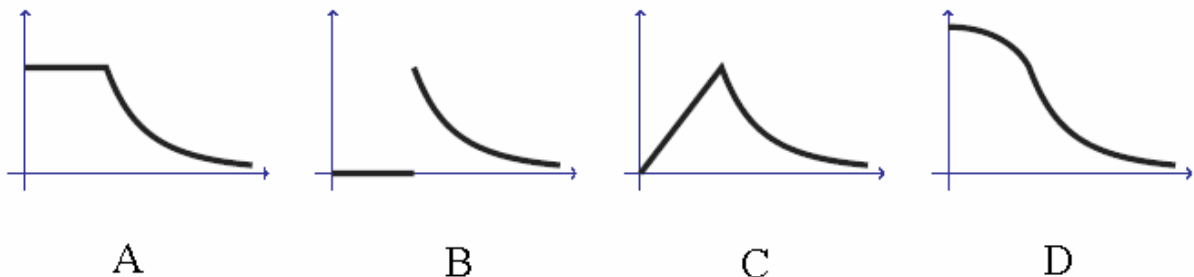
Đáp án: B

Theo quan điểm của mình, Dũng gửi hai tín hiệu đồng thời cùng một lúc và cả hai tín hiệu truyền cùng tốc độ. Bắc đang di chuyển về phía Dũng, trong khi đó An di chuyển ra xa hơn. Do đó, Dũng sẽ thấy tín hiệu đến Bắc trước vì tín hiệu này đi một quãng đường ngắn hơn.

Câu 11

Cho quả cầu đặc dẫn điện có điện tích q . Cặp đồ thị nào mô tả đúng dạng của điện thế $V(r)$ và cường độ điện trường $E(r)$ của quả cầu, trong đó r là khoảng cách tới tâm quả cầu?

- A. Đồ thị A cho $V(r)$ và đồ thị B cho $E(r)$.
- B. Đồ thị C cho $V(r)$ và đồ thị B cho $E(r)$.
- C. Đồ thị C cho $V(r)$ và đồ thị A cho $E(r)$.
- D. Đồ thị D cho $V(r)$ và đồ thị C cho $E(r)$.

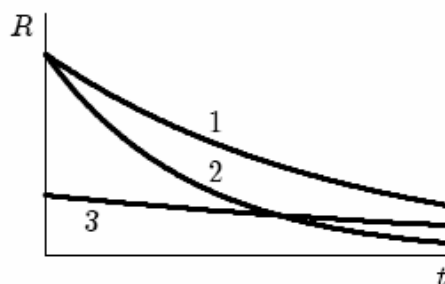


Đáp án : A

Trong lòng quả cầu dẫn điện, điện thế không đổi, cường độ điện trường bằng 0.

Câu 12

Biểu đồ cho thấy sự phụ thuộc thời gian của độ phóng xạ R đối với ba mẫu phóng xạ. Hãy xếp các mẫu theo thứ tự thời gian bán rã của chúng tăng dần.



- A. 2, 3, 1
- B. 1, 3, 2
- C. 2, 1, 3
- D. 3, 1, 2

Đáp án : C

Độ phóng xạ tại thời điểm t được cho bởi biểu thức

$$R = -\frac{dN}{dt} = \frac{\ln 2}{T} N_0 e^{-\frac{t}{T} \ln 2},$$

*trong đó T là thời gian bán rã. T càng lớn thì đường cong $R(t)$ càng ít dốc. Do đó phương án **C** đúng.*

Câu 13

Một chùm ánh sáng không phân cực đi đến lần lượt hai kính phân cực lý tưởng được bố trí sao cho ánh sáng không đi qua được kính phân cực thứ hai. Người ta đưa kính phân cực thứ ba vào khoảng giữa hai kính ban đầu và quay định hướng của nó một cách liên tục từ 0° đến 180° . Cường độ tương đối cực đại của ánh sáng truyền qua cả ba kính phân cực (tỉ số giữa cường độ ánh sáng truyền qua và cường độ ánh sáng tới) là

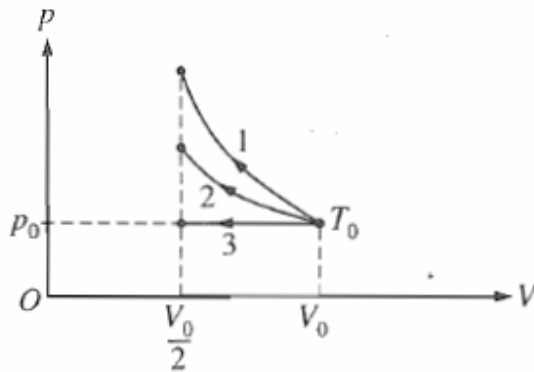
- A. 0
- B. $\frac{1}{8}$
- C. $\frac{1}{2}$
- D. $\frac{1}{\sqrt{2}}$

Đáp án: B

Góc giữa trục phân cực của hai kính phân cực ban đầu là 90° . Ký hiệu góc giữa trục phân cực của kính thứ ba và kính thứ nhất là θ , $\vec{E}_1$ là cường độ điện trường của ánh sáng sau khi truyền qua kính thứ nhất. Khi đó, cường độ điện trường của ánh sáng sau khi đi qua cả ba kính phân cực là $\vec{E}_2 = \vec{E}_1 \sin \theta \cos \theta$. Cường độ ánh sáng truyền qua là $I = (E_2)^2 = (E_1)^2 \sin^2 \theta \cos^2 \theta = 1/8 I_0 \sin^2 2\theta$, trong đó I_0 là cường độ ánh sáng tới. Vậy cường độ ánh sáng truyền qua cực đại là $I_{\max} = 1/8 I_0$.

Câu 14

Ban đầu, một lượng khí lý tưởng có nhiệt độ T_0 , thể tích V_0 và áp suất p_0 . Người ta nén khí đến thể tích bằng một nửa thể tích ban đầu. Quá trình đó có thể là đoạn nhiệt (quá trình 1), đẳng nhiệt (quá trình 2), hoặc đẳng áp (quá trình 3). Kết luận nào về công cơ học thực hiện trên khối khí là đúng?



- A. Lớn nhất đối với quá trình 1.
- B. Lớn nhất đối với quá trình 3.
- C. Bằng nhau đối với quá trình 1 và 2, nhỏ hơn đối với quá trình 3.
- D. Bằng nhau đối với quá trình 2 và 3, nhỏ hơn đối với quá trình 1.

Đáp án: A

Công cơ học thực hiện trên khối khí được cho bởi biểu thức $\int_{V_c}^{V_d} p dV$, trong đó V_d và V_c lần lượt là thể tích ban đầu và thể tích cuối của khối khí, tức là tỷ lệ với diện tích của hình bên dưới đường cong mô tả quá trình biến đổi của khối khí. Theo hình vẽ, công ứng với quá trình 1 là lớn nhất.

Câu 15

Giá trị nào dưới đây gần nhất với tốc độ cuốn v_d của electron trong sợi dây đồng có bán kính 1 mm, dòng điện cường độ 3A? Biết rằng khối lượng riêng của đồng ở nhiệt độ phòng là 9 g/cm^3 , khối lượng mol là $63,5 \text{ g/mol}$.

- A. $6 \times 10^{-5} \text{ m/s}$
- B. $4 \times 10^{-4} \text{ m/s}$
- C. $3 \times 10^8 \text{ m/s}$
- C. $8 \times 10^0 \text{ m/s}$

Đáp án : A

Vận tốc cuốn là $v_d = \frac{IM}{eSmN_A}$, trong đó I là cường độ dòng điện, M là khối lượng mol, e là điện tích nguyên tố, S là tiết diện dây, m là khối lượng một đơn vị thể tích của đồng, N_A là số Avogadro. Thay giá trị số, ta được $v_d \approx 6 \times 10^{-5} \text{ m/s}$.

Câu 16

Laze He-Ne phát ánh sáng đỏ có bước sóng $\lambda=630\text{nm}$. Nếu ánh sáng này chiếu vuông góc vào cách tử nhiễu xạ có 2000 vạch/cm thì có thể quan sát được bao nhiêu cực đại, kể cả cực đại trung tâm, trên màn hình đặt xa đẳng sau cách tử?

A. 14 B. 15 C. 16 D. 17

Đáp án: B

Cực đại bậc m nằm trên hướng lập góc θ với hướng tia tới thỏa mãn hệ thức

$d \sin \theta = m\lambda$, trong đó d là khoảng cách giữa hai vạch liền nhau của cách tử. Do đó

$$\sin \theta = \frac{m\lambda}{d} \leq 1,$$

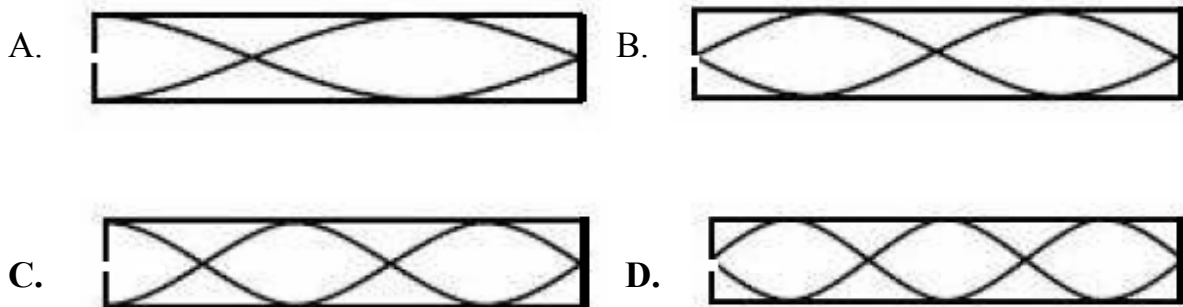
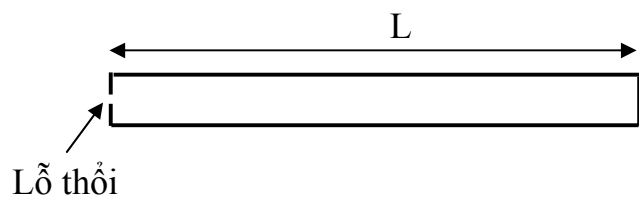
suy ra

$$m \leq \frac{d}{\lambda} = \frac{10^{-2}}{2000 \times 630 \times 10^{-9}} = 7,9.$$

Như vậy, ta có thể quan sát được $2 \times 7 + 1 = 15$ cực đại.

Câu 17

Kèn clarinet là một nhạc cụ thuộc bộ hơi, có thể được mô hình hóa bởi một ống kín ở một đầu. Một kèn clarinet có tần số cơ bản 130 Hz tạo ra họa âm 650 Hz. Hình nào dưới đây mô tả đúng nhất sóng áp suất đứng trong ống? (Trên hình vẽ là đồ thị sóng áp suất ở hai thời điểm chênh nhau một nửa chu kỳ).

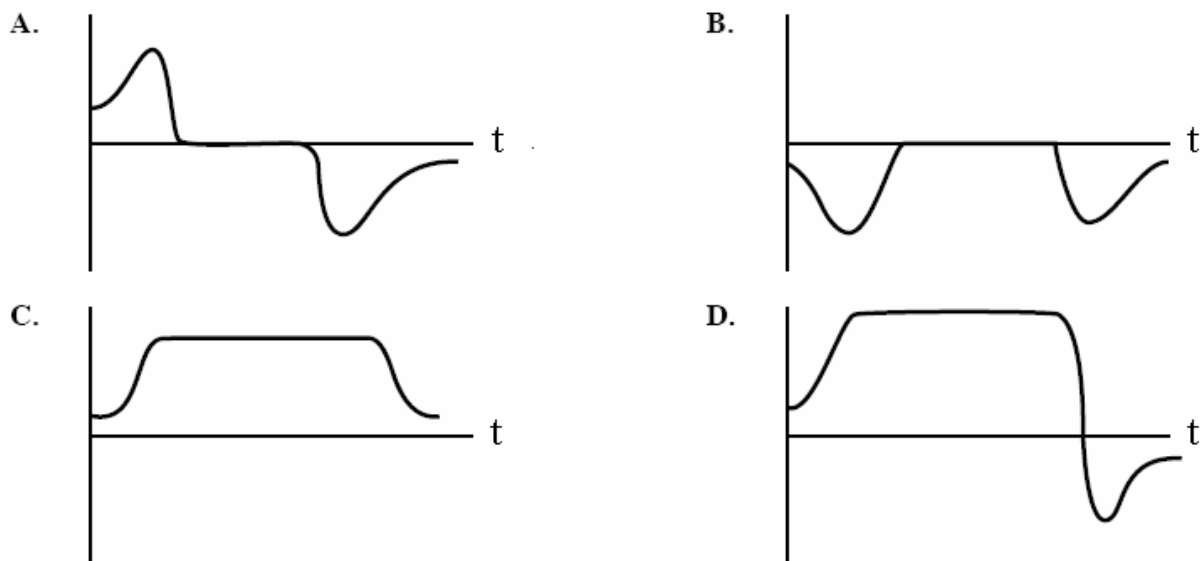
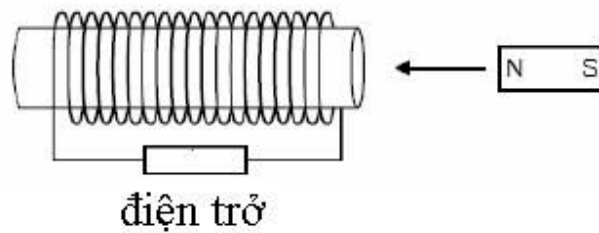


Đáp án: C

Đối với ống kín một đầu, ta có biểu thức $L = n\lambda/4$, trong đó L là chiều dài ống, λ là bước sóng của âm, $n = 1, 3, 5, \dots$ chỉ bậc họa ba của âm phát ra. Họa ba 650 Hz là họa ba bậc 5 của âm cơ bản. Do đó, $L = 5\lambda/4$. Hình C mô tả trường hợp này.

Câu 18

An và Bắc nghiên cứu hiện tượng cảm ứng điện từ. Hai bạn có một nam châm vĩnh cửu nhỏ và một cuộn dây dài cuốn quanh một ống trụ rỗng như trong hình vẽ. Hai bạn di chuyển nam châm với tốc độ không đổi, xuyên qua cuộn dây và ra phía bên kia. Biểu đồ nào dưới đây mô tả tốt nhất sự thay đổi theo thời gian của dòng điện trong cuộn dây?



Đáp án : A

Khi nam châm chuyển động lại gần và đi vào ống dây, từ thông trong ống dây tăng lên. Khi nam châm đi ra ngoài ống dây, từ thông giảm. Dòng cảm ứng có chiều chống lại sự thay đổi đó, do đó, có chiều ngược nhau khi nam châm đi vào và khi đi ra ngoài ống dây. Khi nam châm di chuyển trong lòng ống dây, từ thông không đổi nên không có dòng điện cảm ứng.

Câu 19

Một xung lade dài 25 ms có năng lượng tổng cộng $E_{tc} = 1,2 \text{ J}$. Nếu bước sóng của ánh sáng lade là 463 nm thì có bao nhiêu photon được phát xạ trong xung này?

- A. $3,4 \times 10^{19}$ photon B. $1,1 \times 10^{17}$ photon
C. $2,8 \times 10^{18}$ photon D. $6,9 \times 10^{19}$ photon

Đáp án: C

Năng lượng của photon $E_{ph} = hc/\lambda = 0,43 \times 10^{-18} \text{ J}$.

Số photon là $N = E_{tc} / E_{ph} = 2,8 \times 10^{18}$.

Câu 20

Hai vật A và B có cùng chiều dài nếu xét trong hệ quy chiếu mà A đứng yên, còn B chuyển động với tốc độ $\frac{3}{5}c$ theo phương chiều dài của nó. Trong hệ quy chiếu mà B đứng yên còn A chuyển động, tỷ số chiều dài của chúng là

- A. $\frac{L_A}{L_B} = \frac{5}{4}$ B. $\frac{L_A}{L_B} = \frac{4}{5}$ C. $\frac{L_A}{L_B} = \frac{16}{25}$ D. $\frac{L_A}{L_B} = \frac{25}{16}$

Đáp án: C

Ký hiệu L_{A0} và L_{B0} là chiều dài của A và B trong hệ quy chiếu riêng tương ứng của chúng. Trong hệ quy chiếu S' mà A đứng yên còn B chuyển động, chiều dài của chúng tương ứng là L'_A và L'_B . Ta có $L'_A = L_{A0}$, $L'_B = \gamma L_{B0}$ với

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{3}{5}c\right)^2 / c^2}} = \frac{5}{4}. \text{ Theo đầu bài, } L'_A = L'_B, \text{ suy ra } L_{A0} = \gamma L_{B0}.$$

Trong hệ quy chiếu S mà B đứng yên và A chuyển động, chiều dài tương ứng của A và B là L_A và L_B . Tương tự, ta có $L_A = \gamma L_{A0}$, $L_B = L_{B0}$. Do đó

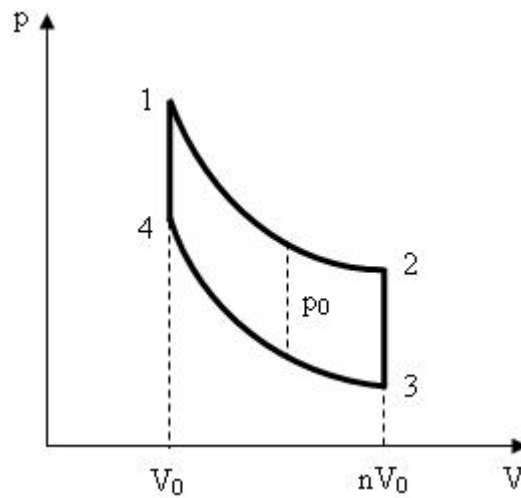
$$\frac{L_A}{L_B} = \frac{\gamma L_{A0}}{L_{B0}} = \frac{\gamma^2 L_{B0}}{L_{B0}} = \gamma^2 = \frac{25}{16} \rightarrow \text{đáp án C}$$

PHẦN THI GIẢI BÀI TẬP

(180 phút không kể thời gian phát đề)

Câu 1

Một khí lý tưởng đơn nguyên tử thực hiện chu trình 1-2-3-4-1 được mô tả trên giản đồ p-V như hình vẽ.



Biết rằng trong chu trình, thể tích nhỏ nhất của khí là V_0 , thể tích lớn nhất gấp n lần. Các đoạn 2 – 3 và 4 – 1 là đẳng tích, đoạn 3 – 4 là đoạn nhiệt, còn đoạn 1 – 2 nhận được từ đoạn 3 – 4 bằng cách dịch một đoạn có độ dài p_0 lên phía trên dọc theo trục áp suất.

- Hãy xác định lượng nhiệt thu được hoặc tỏa ra trên các đoạn 1 – 2, 2 – 3, 4 – 1.
- Tính hiệu suất của chu trình trên.

Bài giải

- Trên các đoạn đẳng tích 4 – 1 và 2 – 3, khí nhận nhiệt hay tỏa nhiệt chỉ làm thay đổi nội năng của nó:

$$U = \frac{3}{2}sRT = \frac{3}{2}pV \quad ,$$

trong đó s là số mol khí. Trên đoạn 4 – 1, khí thu nhiệt ($Q_{4-1} > 0$), còn trên đoạn 2 – 3, khí tỏa nhiệt ($Q_{2-3} < 0$). Ta có

$$Q_{4-1} = \Delta U_{4-1} = \frac{3}{2}p_0V_0 \quad , \quad (1)$$

$$Q_{2-3} = \Delta U_{2-3} = -\frac{3}{2}np_0V_0 \quad . \quad (2)$$

Ở đây, ΔU_{4-1} và ΔU_{2-3} lần lượt là biến thiên nội năng của khí trên đoạn 4 – 1 và 2 – 3.

Ký hiệu sự phụ thuộc của áp suất vào thể tích trong quá trình đoạn nhiệt 3 – 4 là

$$p = p_a(V) \quad .$$

Khi đó, theo đề bài, áp suất phụ thuộc vào thể tích trong quá trình 1 – 2 được mô tả bởi phương trình

$$p = p_a(V) + p_0 \quad .$$

Lượng nhiệt ΔQ_{1-2} thu được trên đoạn này khi dẫn nở một thể tích nhỏ ΔV bằng tổng của biến thiên nội năng và công thực hiện, tức là

$$\Delta Q_{1-2} = \Delta \left(\frac{3}{2} (p_a + p_0) V \right) + (p_a + p_0) \Delta V = \frac{5}{2} (p_a + p_0) \Delta V + \frac{3}{2} \Delta p_a V \quad . \quad (3)$$

Tương tự, nhiệt lượng thu được trên đoạn 3 – 4 khi dẫn nở một thể tích nhỏ ΔV là

$$\Delta Q_{3-4} = \frac{5}{2} p_a \Delta V + \frac{3}{2} \Delta p_a V \quad . \quad (4)$$

Tuy nhiên, quá trình 3 – 4 là quá trình đoạn nhiệt nên $\Delta Q_{3-4} = 0$. Tính Δp_a từ phương trình (4), thế vào (3), ta nhận được

$$\Delta Q_{1-2} = \frac{5}{2} p_0 \Delta V \quad .$$

Vậy lượng nhiệt khí nhận được trên đoạn 1 – 2 là

$$Q_{1-2} = \frac{5}{2} p_0 (n - 1) V_0 \quad . \quad (5)$$

b. Tổng nhiệt lượng khí nhận được từ nguồn nóng là

$$Q_+ = Q_{1-2} + Q_{4-1} = \frac{5}{2} p_0 (n - 1) V_0 + \frac{3}{2} p_0 V_0 \quad .$$

Tổng nhiệt lượng khí nhả cho nguồn lạnh là

$$Q_- = |Q_{2-3}| = \frac{3}{2} n p_0 V_0 \quad .$$

Vậy hiệu suất của chu trình là

$$\eta = 1 - \frac{Q_-}{Q_+} = 1 - \frac{\frac{3}{2} n p_0 V_0}{\frac{5}{2} p_0 (n - 1) V_0 + \frac{3}{2} p_0 V_0} = \frac{n - 1}{\frac{5}{2} n - 1} \quad . \quad (6)$$

Câu 2

Một vật liệu chiếm toàn bộ nửa không gian $z > 0$, mặt phẳng giới hạn tại $z = 0$. Miền $z < 0$ là chân không. Vật liệu này không dẫn điện (độ dẫn $\sigma = 0$), không nhiễm từ (hằng số từ thẩm $\mu = 1$), có chiết suất thực N_x đối với sóng phân cực thẳng theo phương trục x , N_y đối với phân cực thẳng theo phương trục y , khi sóng truyền theo phương trục z . $N_x > 1$ và $N_y > 1$ nhưng $N_x \neq N_y$. Không có điện tích và dòng điện tự do trên bề mặt cũng như bên trong vật liệu.

Một sóng ánh sáng phân cực elip phải truyền theo phương trục z đi từ miền $z < 0$ tới vuông góc với mặt phẳng phân cách của vật liệu. Véc tơ cường độ điện trường $\vec{E}_i$ của sóng tới có thể viết dưới dạng

$$\vec{E}_i = E_0 \left\{ \vec{x} \cos(kz - \omega t) - \frac{1}{2} \vec{y} \sin(kz - \omega t) \right\} ,$$

trong đó $k = N \frac{\omega}{c}$, N là chiết suất của môi trường, $\vec{x}$, $\vec{y}$ và $\vec{z}$ là các véc tơ đơn vị của hệ trục tọa độ. Sóng phản xạ và sóng truyền qua cũng truyền theo phương trục z . Hãy tính hệ số phản xạ R , tức là tỉ số giữa cường độ sóng phản xạ và cường độ sóng tới.

Gợi ý: Véc tơ cảm ứng từ của sóng ánh sáng liên hệ với véc tơ điện trường bởi biểu thức

$$\vec{B} = \frac{N}{c} \vec{n} \times \vec{E} .$$

Ở đây, $\vec{n}$ là véc tơ đơn vị xác định hướng truyền của sóng ánh sáng.

Bài giải

Ánh sáng tới có thể xem là tổ hợp của hai ánh sáng phân cực thẳng: ánh sáng phân cực thẳng theo chiều trục x có véc tơ điện trường $\vec{E}_{ix}$ và ánh sáng phân cực thẳng theo chiều trục y có véc tơ điện trường $\vec{E}_{iy}$

$$\vec{E}_{ix} = E_0 \vec{x} \cos(kz - \omega t) , \quad (1)$$

$$\vec{E}_{iy} = -\frac{1}{2} E_0 \vec{y} \sin(kz - \omega t) . \quad (2)$$

Ký hiệu $E_{ix} = E_0$, $E_{iy} = \frac{1}{2} E_0$. Theo định nghĩa, cường độ ánh sáng $I \sim \overline{E^2}$, trong đó dấu $\overline{A}$ chỉ giá trị trung bình theo thời gian của A . Do đó, cường độ ánh sáng tới $I_i \sim \frac{5}{8} E_0^2$.

Vì véc tơ cảm ứng từ của sóng ánh sáng liên hệ với véc tơ điện trường bởi biểu thức

$$\vec{B} = \frac{N}{c} \vec{n} \times \vec{E} .$$

nên ta có

$$\vec{B}_{(i,t)} = \frac{N_{(i,t)x}}{c} E_{(i,t)x} \vec{y} \cos(kz - \omega t) + \frac{N_{(i,t)y}}{c} E_{(i,t)y} \vec{x} \sin(kz - \omega t) \quad (3)$$

$$\vec{B}_r = -\frac{N_r}{c} \{ E_{rx} \vec{y} \cos(-kz - \omega t) + E_{ry} \vec{x} \sin(-kz - \omega t) \} . \quad (4)$$

Ở đây, chỉ số r , t để chỉ thành phần sóng phản xạ và truyền qua. Tại $z = 0$, thành phần tiếp tuyến của điện trường và từ trường phải liên tục. Do đó ta có các phương trình

$$E_{i(x,y)} + E_{r(x,y)} = E_{t(x,y)} , \quad E_{i(x,y)} - E_{r(x,y)} = N_{(x,y)} E_{t(x,y)} . \quad (5)$$

Giải hệ phương trình này, ta thu được

$$E_{r(x,y)} = \left(\frac{1 - N_{(x,y)}}{1 + N_{(x,y)}} \right) E_{i(x,y)} \quad . \quad (6)$$

Cường độ điện trường của ánh sáng phản xạ là

$$\begin{aligned} \vec{E}_r = E_0 \left\{ \left(\frac{1 - N_x}{1 + N_x} \right) \vec{x} \cos(-kz - \omega t) - \right. \\ \left. - \frac{1}{2} \left(\frac{1 - N_y}{1 + N_y} \right) \vec{y} \sin(-kz - \omega t) \right\} \quad . \quad (7) \end{aligned}$$

Cường độ ánh sáng phản xạ là

$$\begin{aligned} I_r &\sim \frac{1}{2} (E_{rx}^2 + E_{ry}^2) \\ &= \frac{1}{2} E_0^2 \left[\left(\frac{1 - N_x}{1 + N_x} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{1 - N_y}{1 + N_y} \right)^2 \right] \quad . \quad (8) \end{aligned}$$

Hệ số phản xạ R là

$$R = \frac{I_r}{I_i} = \frac{4}{5} \left[\left(\frac{1 - N_x}{1 + N_x} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{1 - N_y}{1 + N_y} \right)^2 \right] \quad . \quad (9)$$

Câu 3

Trong một mô hình của nguyên tử hydro ở trạng thái cơ bản, người ta coi nguyên tử này gồm:

- một proton tích điện $+e$ được coi là chất điểm đặt tại gốc tọa độ O,
- một đám mây tích điện âm có đối xứng cầu bao quanh proton.

Biết điện thế tại điểm M bất kỳ ($OM = r$) có dạng:

$$V(r) = \frac{a}{r} e^{-br} \quad (\text{với } a \text{ và } b \text{ là các hằng số dương}) ,$$

1. a) Hãy xác định điện trường $\vec{E}(r)$ tại điểm M.
b) Tính điện tích của đám mây tích điện âm nằm trong mặt cầu tâm O bán kính r .
2. a) Tính mật độ điện tích $\rho(r)$ của đám mây điện tích âm theo a và b .
b) Từ điều kiện trung hòa về điện của nguyên tử hãy tính hằng số a theo e và ϵ_0 .
3. Tính thế tĩnh điện $V'(r)$ do đám mây tích điện âm gây ra tại điểm M ($OM = r$).
4. Tính theo a và b các đại lượng sau:
 - a) Năng lượng W_{hn} của hạt nhân trong đám mây điện tích âm.
 - b) Năng lượng toàn phần W của nguyên tử hydro.

Bài giải

1. a) Do tính đối xứng cầu của mô hình nguyên tử, điện trường $\vec{E} = -\vec{\nabla}V$ tại M có hướng xuyên tâm và có độ lớn chỉ phụ thuộc vào $r = OM$, cụ thể là

$$\begin{aligned} \vec{E} &= -\vec{\nabla}V(r) = -\frac{dV}{dr} \frac{\vec{r}}{r} = \frac{a \exp(-br)}{r^2} (1 + br) \frac{\vec{r}}{r} . \\ E &\equiv |\vec{E}| = \frac{a \exp(-br)}{r^2} (1 + br) . \end{aligned} \quad (1)$$

- b) Ký hiệu $q(r)$ là điện tích của đám mây điện tích âm nằm trong mặt cầu tâm O bán kính r . Theo định lý Gauss, thông lượng điện trường qua mặt cầu tâm O bán kính r chứa điện tích $+e$ ở tâm và điện tích âm $q(r)$ cho bởi biểu thức

$$E(r)4\pi r^2 = \frac{1}{\epsilon_0} (e + q(r)) . \quad (2)$$

Thay E từ (1) vào (2), ta nhận được

$$4\pi a(1 + br)e^{-br} = \frac{1}{\epsilon_0} (e + q(r)) .$$

Từ đó suy ra

$$q(r) = -e + 4\pi\epsilon_0 a(1 + br)e^{-br} . \quad (3)$$

2. a) Gọi mật độ điện tích âm tại điểm cách tâm O khoảng r là $\rho(r)$. Điện tích âm trong không gian giữa hai mặt cầu có bán kính r và $r + dr$ là

$$\rho(r)4\pi r^2 dr = q(r + dr) - q(r) = q(r) + \frac{dq}{dr} dr - q(r) = \frac{dq}{dr} dr .$$

Suy ra

$$\rho(r) = \frac{1}{4\pi r^2} \frac{dq}{dr} . \quad (4)$$

Thay q từ (3) vào (4), ta được

$$\rho(r) = \frac{1}{4\pi r^2} 4\pi\epsilon_0 a e^{-br} [b - b(1 + br)] ,$$

hay

$$\rho(r) = -\frac{\epsilon_0 a b^2}{r} e^{-br} . \quad (5)$$

- b) Do tính trung hòa về điện của nguyên tử, điện tích âm tổng cộng phải bằng $-e$ cân bằng với điện tích $+e$ của hạt nhân, nên ta có

$$-e = \int_0^\infty \rho(r) 4\pi r^2 dr .$$

Thay $\rho(r)$ từ (5), ta nhận được

$$-e = -4\pi\epsilon_0 a b^2 \int_0^\infty r e^{-br} dr .$$

Lấy tích phân theo từng phần, cuối cùng, ta được

$$a = \frac{e}{4\pi\epsilon_0} . \quad (6)$$

Cách khác: Ta có $\lim_{r \rightarrow 0} q(r) = 0$. Sử dụng (3) ta có (6).

3. Dùng (6) ta có thể tính điện toàn phần tại M là

$$V(r) = \frac{e}{4\pi\epsilon_0 r} e^{-br} .$$

Mặt khác, hạt nhân tại O gây ra tại M điện thế $\frac{e}{4\pi\epsilon_0 r}$. Vậy đóng góp của đám mây điện tích âm vào điện thế toàn phần là

$$V'(r) = V(r) - \frac{e}{4\pi\epsilon_0 r} = \frac{e}{4\pi\epsilon_0 r} [e^{-br} - 1] . \quad (7)$$

4. a) Hạt nhân có điện tích $+e$ đặt tại O ($r \rightarrow 0$). Tại điểm O đám mây tích điện âm gây ra điện thế $V'(O)$, nên hạt nhân có năng lượng bằng

$$W_{hn} = +eV'(O) ,$$

trong đó $V'(O)$ là giới hạn của $V'(r)$ khi $r \rightarrow 0$. Dùng khai triển

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2} + \dots$$

cho $|x| \ll 1$, từ (7) ta có

$$V'(r) = \frac{e}{4\pi\epsilon_0 r} \left(1 - br + \frac{b^2 r^2}{2} + \dots - 1 \right) = \frac{e}{4\pi\epsilon_0} \left(-b + \frac{b^2 r}{2} + \dots \right) ,$$

suy ra

$$V'(O) = \lim_{r \rightarrow 0} V'(r) = -\frac{eb}{4\pi\epsilon_0} .$$

Do đó

$$W_{hn} = +eV'(O) = -\frac{e^2 b}{4\pi\epsilon_0} . \quad (8)$$

b) Năng lượng riêng W_e của đám mây tích điện âm với mật độ $\rho(r)$ bằng

$$W_e = \frac{1}{2} \int_0^\infty V'(r) \rho(r) 4\pi r^2 dr \quad . \quad (9)$$

Thay (5), (6) và (7) vào (9), ta nhận được

$$W_e = -\frac{e^2 b^2}{8\pi\epsilon_0} \int_0^\infty [e^{-2br} - e^{-br}] dr = \frac{e^2 b}{16\pi\epsilon_0} \quad .$$

Vậy, năng lượng toàn phần của nguyên tử hydro bằng

$$W = W_{hn} + W_e = -\frac{3e^2 b}{16\pi\epsilon_0} \quad . \quad (10)$$

Câu 4

Một người quan sát đứng yên so với một ngôi sao cố định ở rất xa (hệ quy chiếu S). Người này nhìn thấy các ngôi sao phân bố đẳng hướng, tức là số ngôi sao người này nhìn thấy trong góc khối $d\Omega$ bằng $dN = N \frac{d\Omega}{4\pi}$ với N là tổng số sao người này nhìn thấy.

Giả sử một người quan sát khác chuyển động với tốc độ tương đối tính $v = \beta c$ theo hướng trục x (hệ quy chiếu riêng là S'). Hỏi người này nhìn thấy các ngôi sao phân bố như thế nào, nghĩa là hàm phân bố $P(\theta', \varphi')$ có dạng thế nào, nếu số ngôi sao người này nhìn thấy trong góc khối $d\Omega'$ của mình là $P(\theta', \varphi')d\Omega'$? Kiểm tra để thấy rằng

$$\int P(\theta', \varphi')d\Omega' = N \quad \text{và} \quad P(\theta', \varphi') \rightarrow \frac{N}{4\pi} \text{ khi } \beta \rightarrow 0 \quad .$$

Người quan sát này thấy các sao chụm lại ở đâu?

Gợi ý: Trong hệ tọa độ cầu (r, θ, φ) , góc khối $d\Omega$ được cho bởi biểu thức

$$d\Omega = d(\cos \theta) d\varphi = \sin \theta d\theta d\varphi$$

Bài giải

Ký hiệu S là hệ quy chiếu gắn với người quan sát đứng yên. Xét photon có động lượng $\vec{p}$, năng lượng $E = pc$ trong hệ S (động lượng $\vec{p}'$, năng lượng $E' = p'c$ trong hệ S'). Ta có

$$p_x = p \cos \theta = \gamma \left(p'_x + \frac{v}{c^2} E' \right) = \gamma p' (\cos \theta' + \beta) \quad , \quad p_y = p \sin \theta = p'_y = p' \sin \theta' \quad ,$$

$$\gamma = 1/\sqrt{1 - \beta^2} \quad ,$$

trong đó θ (θ') là góc giữa $\vec{p}$ ($\vec{p}'$) với trục x (x').

Mặt khác, ta cũng có

$$p = \sqrt{p_x^2 + p_y^2} = p' \sqrt{\gamma^2 (\cos \theta' + \beta)^2 + \sin^2 \theta'} = \gamma p' (1 + \beta \cos \theta') \quad .$$

Do đó,

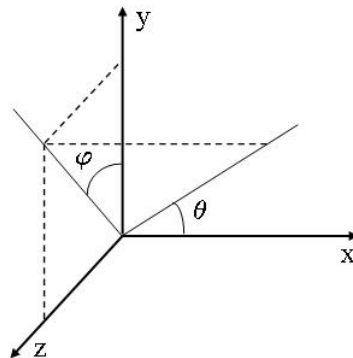
$$\cos \theta = \frac{\gamma p'}{p} (\beta + \cos \theta') = \frac{\beta + \cos \theta'}{1 + \beta \cos \theta'} \quad . \quad (1)$$

Lấy vi phân hai vế của phương trình trên, ta nhận được

$$d(\cos \theta) = \frac{1 - \beta^2}{(1 + \beta \cos \theta')^2} d(\cos \theta') \quad .$$

Ký hiệu φ (φ') là góc cực trong mặt phẳng yz (mặt phẳng $y'z'$) (xem hình vẽ). Rõ ràng là

$$\varphi = \varphi' \quad . \quad (2)$$



Như vậy, số lượng sao dN người quan sát trong hệ S nhìn thấy trong góc khối $d\Omega$ theo hướng xác định bởi các góc (θ, φ) bằng số lượng sao dN' người quan sát trong hệ S' nhìn thấy trong góc khối $d\Omega'$ xác định bởi các góc (θ', φ') , trong đó các góc này liên hệ với nhau bởi các phương trình (1) và (2). Do đó,

$$dN = \frac{N}{4\pi} d\Omega = \frac{N}{4\pi} d(\cos \theta) d\varphi = \frac{N}{4\pi} \frac{1 - \beta^2}{(1 + \beta \cos \theta')^2} d(\cos \theta') d\varphi' = \frac{N}{4\pi} \frac{1 - \beta^2}{(1 + \beta \cos \theta')^2} d\Omega' = dN' .$$

Theo định nghĩa, hàm phân bố sao trong hệ S' là

$$P(\theta', \varphi') = \frac{N}{4\pi} \frac{1 - \beta^2}{(1 + \beta \cos \theta')^2} .$$

Dễ dàng thử lại:

$$P(\theta', \varphi') \rightarrow \frac{N}{4\pi} \quad \text{khi} \quad \beta \rightarrow 0 .$$

$$\int P(\theta', \varphi') d\Omega' = \int_{-1}^1 d(\cos \theta') \int_0^{2\pi} d\varphi' \frac{N}{4\pi} \frac{1 - \beta^2}{(1 + \beta \cos \theta')^2} = \frac{N}{2} \int_{-1}^1 dx \frac{1 - \beta^2}{(1 + \beta x)^2} = N .$$

Người quan sát S' nhìn thấy sao chụm lại ở hướng mà hàm phân bố có giá trị lớn nhất, hay là biểu thức $(1 + \beta \cos \theta')^2$ có giá trị nhỏ nhất, ứng với $\cos \theta' = -1$ hay $\theta' = \pi$. Điều đó có nghĩa người quan sát S' nhìn thấy các sao tụ lại ở lân cận điểm xa vô cùng trên trục x' về phía giá trị âm, mặc dù sao phân bố đồng đều theo mọi hướng trong hệ S.